



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS EN TOPOGRAFÍA,
GEODESIA Y CARTOGRAFÍA
TITULACIÓN DE GRADO EN INGENIERÍA GEOMÁTICA Y
TOPOGRAFÍA

TRABAJO FIN DE GRADO

**CÁLCULO DE LA ATRACCIÓN GRAVIMÉTRICA INDUCIDA
POR EL PABELLÓN DE GRAVIMETRÍA DEL CENTRO DE
DESARROLLOS TECNOLÓGICOS DE YEBES (INSTITUTO
GEOGRÁFICO NACIONAL)**

Madrid, julio de 2014

Alumna: Rocío Romero Jarén

Tutor: Juan José Rueda Núñez

Cotutor: Sergio Sainz-Maza Aparicio

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS EN TOPOGRAFÍA,
GEODESIA Y CARTOGRAFÍA
TITULACIÓN DE GRADO EN GEOMÁTICA Y TOPOGRAFÍA

TRABAJO FIN DE GRADO

**CÁLCULO DE LA ATRACCIÓN GRAVIMÉTRICA INDUCIDA
POR EL PABELLÓN DE GRAVIMETRÍA DEL CENTRO DE
DESARROLLOS TECNOLÓGICOS DE YEBES (INSTITUTO
GEOGRÁFICO NACIONAL)**



Madrid, julio de 2014

Alumna: Rocío Romero Jarén

Tutor: Juan José Rueda Núñez

Cotutor: Sergio Sainz-Maza Aparicio

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero agradecer el esfuerzo y la dedicación a mi tutor Don Juan José Rueda Núñez y a mi cotutor Don Sergio Sainz-Maza Aparicio. Sin ellos no hubiera sido posible la realización de este Trabajo Fin de Grado en todas y cada una de las fases que lo componen, más allá del continuo asesoramiento que me han proporcionado.

A todos los compañeros de la ETSI de Topografía, Geodesia y Cartografía, por los interminables cafés que me han permitido enfrentarme a los momentos complicados de la carrera con una sonrisa.

Y por último, pero no menos importante, a mis padres y resto de familiares, por su continuo apoyo, especialmente en los momentos de mayor dificultad.

RESUMEN

En el presente Trabajo Fin de Grado se modeliza la estructura del Pabellón de Gravimetría del Centro Astronómico de Yebes para así poder determinar su influencia sobre los valores de gravedad observados en el interior del Pabellón.

El Pabellón de Gravimetría dispone en su interior de una sala dónde se realizan medidas de gravedad sobre siete pilares de hormigón situados a nivel del suelo. Para poder modelizar la sala de medida se ha realizado un levantamiento topográfico con las especificaciones técnicas de una escala 1:100. Tras la realización del levantamiento se han determinado las coordenadas geográficas del centro de los pilares de medida mediante el cálculo de una radiación, pues es necesario conocer éste dato al realizar medidas relativas de gravedad.

Para el cálculo de la influencia que genera la estructura del Pabellón sobre las medidas de gravedad observadas en su interior se han creado una serie de programas en lenguaje Java empleando la fórmula de la atracción gravitatoria que genera un prisma (Nagy, 1969).

Una vez se han llevado a cabo las observaciones y los cálculos necesarios se concluye que la influencia de la estructura sobre las medidas de la gravedad observadas en el interior del Pabellón no es de gran magnitud. No obstante es necesario conocerla y así poder corregir los valores observados. Asimismo, se determina cierta desorientación de los pilares de medida con respecto al norte geográfico.

El presente Trabajo Fin de Grado permitirá, entre otros, que el Centro de Desarrollos Tecnológicos de Yebes participe en proyectos de carácter internacional.

ABSTRACT

In the current Bachelor Thesis, the structure of the Pavellón de Gravimetría del Centro Astronómico de Yebes is moulded in order to determine its influence on the observed values of gravity inside the Pavilion.

The Pabellón de Gravimetría holds in its interior a room where gravity measures are made on seven concrete pillars located on the ground level. In order to be able to mould the room, a topographical survey measurement was made on a 1:100 scale. After concluding the topographical survey measurement the geographical coordinates of the centre of the measurement pillars were determined, due to the necessity to know this data when making relative gravity measures.

To calculate the influence that the pavilion structure has on the observed gravity measures in its interior generates, a series of programs in Java language have been created using the formula of the gravitational attraction that generates a prism (Nagy, 1969).

Once the observations and the necessary calculations have been carried out, it is concluded that the influences of the structure of the Pavilion on the observed gravity measures inside it are not of a considerable magnitude. Despite that, it is necessary to know this to be able to correct the observed values. Also, certain disorientations of the pillars of measurement with respect to the geographical north is determined.

The current Bachelor Thesis will allow, among others, the Centre of Technological Developments of Yebes to get involved in projects of international nature.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. ANTECEDENTES.....	8
3. INSTRUMENTACIÓN.....	9
4. METODOLOGÍA.....	11
4.1. TRABAJOS DE CAMPO	
4.1.1. Red por técnicas GNSS.....	13
4.1.2. Levantamiento topográfico.....	16
4.1.3. Medidas de los valores de gravedad.....	19
4.1.4. Desorientación de los pilares de medida.....	23
4.2. TRABAJOS DE GABINETE	
4.2.1. Cálculo de la Red GNSS.....	26
4.2.2. Cálculo de la radiación.....	30
4.2.3. Tratamiento de los valores de gravedad.....	31
4.2.4. Cálculo de la desorientación de los pilares de medida.....	35
4.2.5. Dimensiones, localización y densidad de las masas de la estructura del Pabellón.....	37
4.2.6. Influencia de la estructura del pabellón sobre las medidas de gravedad.....	48
5. RESULTADOS OBTENIDOS.....	59
6. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....	76
6.1. CONCLUSIONES.....	82
7. REFERENCIAS.....	84
8. ANEXOS.....	88

1. INTRODUCCIÓN

La gravimetría es la ciencia encargada del estudio de la gravedad o lo que es lo mismo, la atracción entre masas. Dicha ciencia se enmarca tanto dentro de la geodesia como de la geofísica. Su fundamento está basado en la Ley de Gravitación Universal formulada por Newton en 1687 en su *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*:

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

Siendo r la distancia entre los cuerpos definidos por sus masas m_1 y m_2 . F es la fuerza de atracción mutua y G la constante de gravitación universal ($6.673 \times 10^{-11} \text{ kg}^{-1}\text{s}^{-2}\text{m}^3$).

La gravedad es una de las cuatro interacciones fundamentales (interacción nuclear fuerte, interacción nuclear débil, interacción electromagnética e interacción gravitatoria). Sobre todo objeto se ejerce una fuerza, dicha fuerza se denomina gravedad. El concepto de gravedad tiene dos vertientes iniciales, la primera como aceleración de la gravedad " g " que provoca un cuerpo sobre otro que se encuentre dentro de su campo gravitatorio. En principio, esta aceleración de la gravedad es independiente de la masa del segundo cuerpo y variará con la distancia al cuadrado. La segunda se refiere a la gravedad como fuerza de atracción entre dos cuerpos. Por lo tanto el estudio de la gravedad contribuye al conocimiento de la forma de la tierra (geodesia) y a conocimiento de la distribución de masas en el interior del planeta (geofísica). Para la mayoría de los cálculos se emplea un valor para la gravedad de 9.8 m/s^2 , pero éste solamente es una aproximación al valor real. El valor de la gravedad se ve influido en la realidad por multitud de parámetros como pueden ser la latitud, la altura y el tiempo, etc. (figura 1.1)

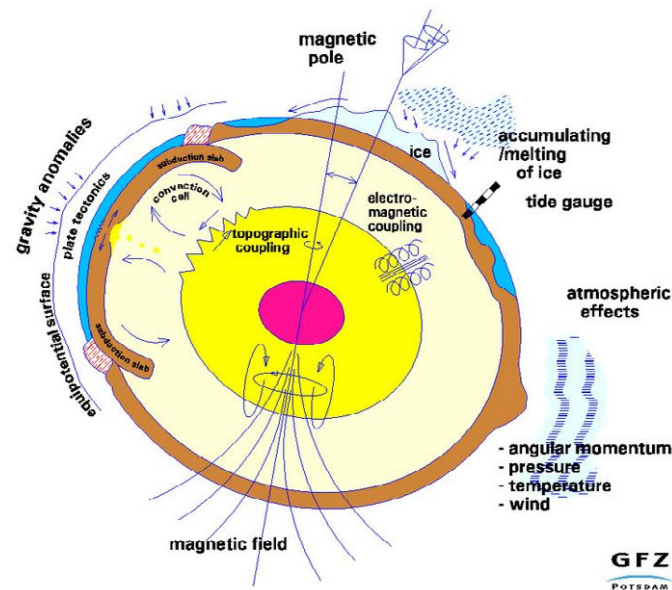


Figura 1.1. Distintos fenómenos que pueden afectar en la magnitud del valor de la gravedad sobre un punto de la tierra. Imagen tomada de la página oficial del Helmholtz Centre POSTDAM.

El hecho de que varíe con tantos parámetros, hace que el estudio de la gravedad terrestre tenga múltiples aplicaciones. Dentro de ellas se pueden destacar:

- Cálculo de la altitud dinámica y geopotencial de un punto de la superficie terrestre.
- La investigación de la composición y propiedades del interior de la Tierra (densidad, elasticidad, etc.).
- La detección de movimientos geodinámicos en la corteza, manto y núcleo de la Tierra.
- La determinación de órbitas de los satélites.
- Su empleo en prospección geofísica.
- Aplicaciones en física fundamental, como la determinación de la constante de gravitación universal G y sus variaciones.

En función del tipo de instrumento empleado para la determinación del valor de la gravedad y de la aplicación que le queramos dar, podemos dividir las medidas en dos tipos: relativas o absolutas.

- Medidas absolutas

Se quiere determinar el valor absoluto de la gravedad, es decir, el valor de "g". Dichas medidas son sobre todo empleadas en meteorología, calibraciones, nivelaciones y como parámetro en distintas fórmulas.

La instrumentación empleada para su determinación ha evolucionado desde los distintos tipos de péndulos (Torge, 1989), a los primeros gravímetros basados en el principio de caída libre que son los empleados en los últimos 40 años (Faller, 2002). En la actualidad se están desarrollando gravímetros atómicos (Jiang et al., 2012).

- Medidas relativas

En éste caso interesa el valor relativo de gravedad, es decir, " Δg ", entre dos puntos separados en el tiempo y/o en el espacio. Dentro de éste tipo de medidas podemos destacar las medidas continuas de gravedad que se realizan con gravímetros relativos como pueden ser los gravímetros superconductores o de muelle, las cuales son determinantes en el estudio de las mareas terrestres, y en el estudio de las variaciones espaciales de gravedad.

Es hacia 1930 cuando la gravimetría relativa experimenta una gran revolución, con el desarrollo de los primeros gravímetros estáticos (figura 1.2). Este equipo mide la fuerza de la atracción gravitatoria mediante la compensación de ésta con otro tipo de fuerza. Tradicionalmente basados en un muelle, que permiten tanto el trabajo en campo (Lacoste&Romberg, Worden, Scintrex, Burris) como el registro continuo en algunos casos (Lacoste&Romberg, Scintrex, Burris). Actualmente se han desarrollado los gravímetros superconductores, que emplean la fuerza de levitación magnética como fuerza de compensación (GWR, 2014).

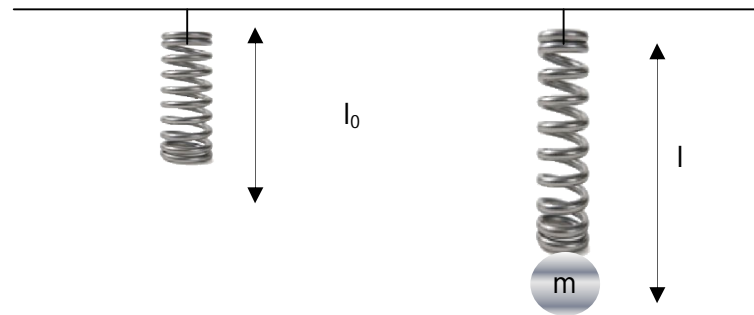


Figura 1.2. Esquema del interior de un gravímetro estático dónde se muestra la elongación de un muelle elástico generada por el peso de la masa m .

Al no ser una medida absoluta, los gravímetros relativos necesitan ser calibrados con cierta frecuencia, para ello se pueden emplear distintos procedimientos:

- Líneas de calibración. Consiste en una sucesión de puntos distribuidos en el espacio que recojan cambios de latitud y/o altura, que impliquen variaciones de gravedad apreciables (Camacho et al., 2002). Algunos de dichos puntos pertenecen a las redes oficiales de gravimetría. De los puntos que componen la línea de calibración se conoce con mucha precisión su valor absoluto de gravedad. La calibración consiste en medir sobre todos los puntos que componen la línea con el instrumento que se desea calibrar y comparar los resultados obtenidos con los asignados como valores absolutos.
- Calibración mediante comparación de los registros en modo continuo con la marea terrestre. Se realiza en lugares en que dicha marea es conocida con gran precisión, como por ejemplo son las estaciones del proyecto GGP (Global Geodynamics Project), (Riccardi, et al. 2011).

- Intercomparación a nivel global o local. Como pueden ser las intercomparaciones de BIPM (Bureau International des Poids et Mesures), (Robertsson et al., 2001; Oliver et al., 2013).

Uno de los objetivos es que el Pabellón Gravimétrico de Yebes participe en este tipo de proyectos. Por ello se quiere determinar el máximo número de parámetros posibles que afectan a las medidas de gravedad.

En el año 2008 se inicia en el Observatorio de Yebes el proyecto YEBESGRAV, que consiste en el diseño y construcción de un pabellón de Gravimetría proyectado para minimizar las variaciones de temperatura y humedad y asegurar una gran calidad del registro (figura 1.3). El pabellón consta de doble recinto (uno en el interior del otro) y dispone de siete pilares que permiten la medida simultánea para la interoperación de instrumentación gravimétrica (figura 1.4). Además, se le ha dotado de instrumentación de control de las condiciones ambientales (estación meteorológica, medida de nivel freático, medida de la humedad del suelo...). El Pabellón de gravimetría de Yebes se construyó con un primer objetivo centrado en la radioastronomía. Posteriormente, se quiso que fuera un laboratorio de intercomparación de medidas absolutas de gravedad.



Figura 1.3. Pabellón de Gravimetría de Yebes dónde se muestra la forma del exterior y del interior con diversos gravímetros instalados en su interior.

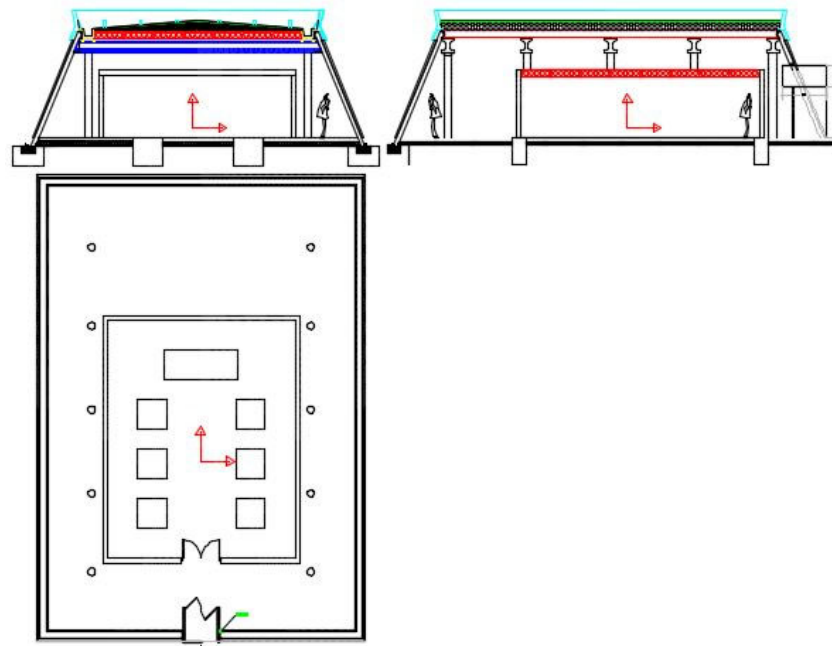


Figura 1.4. Vistas del Pabellón de Gravimetría de Yebes. El alzado (arriba a la izquierda); perfil (arriba a la derecha); planta (abajo a la izquierda). En todos los casos el norte queda definido en dirección a la puerta de acceso.

Tras la construcción del pabellón se han realizado diversas campañas y proyectos de medida tanto con gravímetros relativos, absolutos y con el gravímetro superconductor (relativo). Estas observaciones quedan afectadas, entre otros parámetros, por la distribución de masas que definen el edificio. Por esta razón, y como principal objetivo del presente Trabajo Fin de Grado (TFG) se persigue dimensionar el Pabellón para así modelar la atracción generada por dicha estructura sobre los centros de los pilares de la sala de medida, así como en su entorno cercano, para de este modo poder corregir los valores de gravedad obtenidos tanto en el interior como el exterior del Pabellón. Por otro lado, la calibración de instrumentos es otra de las actividades que se llevan a cabo en el laboratorio de Yebes. Por ello, se considera de especial necesidad obtener los valores de las influencias que provienen de diversas fuentes y que pueden afectar a las medidas de gravedad. Es muy importante conocer con gran precisión la posición de las antenas de radioastronomía que se encuentran en el Centro Astronómico de Yebes, junto al Pabellón de Gravimetría. Por ello, se debe determinar la marea terrestre y conocer cómo afecta ésta a las antenas.

Conocer la mayor cantidad posible de características que componen el edificio permitirá que el Centro de Desarrollos Tecnológicos de Yebes participe en organizaciones y proyectos internacionales tales como Global Geodynamic Project, Absolute Gravity database, European Comparison of Absolute Gravimeters e International Comparison of Absolute Gravimeters.

Otro de los objetivos del presente trabajo es dotar de coordenadas geográficas en el sistema oficial de coordenadas (ETRS89) a los siete centros de los pilares de medida. Para la realización de las medidas de gravedad es necesario conocer con una precisión de ± 2 centímetros las coordenadas del punto de estación. Hasta el momento las coordenadas indicadas eran aproximadas y obtenidas mediante el receptor GPS provisto en los instrumentos. Por otro lado, se pretende determinar si los pilares de medida están perfectamente orientados en la dirección del norte geográfico. En éste centro no solo se trabaja con instrumentación gravimétrica, sino también con sismógrafos e inclinómetros. Para el correcto uso de éstos es necesario conocer la orientación en el momento de estación.

La realización del TFG se ha llevado a cabo en el Instituto Geográfico Nacional (IGN), trabajando de forma continuada tanto en el Real Observatorio de Madrid, situado en el Parque del Retiro, como en el Centro Astronómico de Yebes (CAY), situado en la localidad de Yebes, en la provincia de Guadalajara.

En resumen, los objetivos que se persiguen con el presente TFG son:

- Dimensionar el Pabellón de gravimetría para poder modelar la atracción generada por la estructura del mismo y corregir así los valores de gravedad medidos en su interior y en el exterior.
- Obtener coordenadas geográficas en el sistema oficial de referencia ETRS89 de los centros de los pilares de medida.
- Determinar la desorientación de los pilares de medida con respecto al norte geográfico.

2. ANTECEDENTES

El IGN fue creado el 12 de septiembre de 1870, dependiendo administrativamente de la Dirección de Estadística del Ministerio de Fomento, pero con plena libertad para el ejercicio de las facultades técnicas que se le atribuyeron, consistentes en "la determinación de la forma y dimensiones de la Tierra, triangulaciones geodésicas de diversos órdenes, nivelaciones de precisión, triangulación topográfica, topografía del mapa y del catastro, y determinación y conservación de los tipos internacionales de pesos y medidas" (IGN, 2014). No siempre ha permanecido integrado en el Ministerio de Fomento, ya que a lo largo de su historia ha dependido en ocasiones de otros ministerios, como el de Instrucción Pública y Bellas Artes, Ministerio de Planificación de Desarrollos actuales o el Ministerio de Presidencia.

Las funciones del IGN han ido variando a lo largo del tiempo. Las funciones quedan definidas según el Real Decreto 452/2012, de 5 de marzo (BOE, 2012). Entre las actividades que se desarrollan actualmente, y haciendo hincapié en las instalaciones de Yebes, centro dónde se ha desarrollado gran parte del TFG, se pueden destacar las siguientes:

- Gravimetría superconductora

Durante el año 2010, personal de la Subdirección general de Astronomía, Geodesia y Geofísica, pusieron en marcha las instalaciones del Pabellón de Gravimetría del Observatorio de Yebes, abriendo con ello la nueva línea de actividades en la más avanzada técnica de ese campo: la que utiliza gravímetros cuyos detectores se basan en fenómenos de superconducción, con lo que se consiguen sensibilidades del orden del nanogal (10^{-11} m/s²), inalcanzables por ninguna otra técnica, y que permiten la realización de estudios geodésicos hasta ahora inabordables. Es la primera vez que se modela un edificio en el que se observan medidas de gravedad.

3. INSTRUMENTACIÓN

Para el desarrollo del proyecto ha sido necesario el uso de los siguientes instrumentos:

- Taquímetro electrónico Leica TCR 405 power: este instrumento es una estación total de alta calidad. La característica principal de la estación es la posibilidad de efectuar medidas sin reflector, visualizando o sin visualizar un puntero laser. De igual modo al resto de estaciones se pueden llevar a cabo medidas con reflectores. Mide tanto valores angulares como de distancia (geométrica, horizontal o desnivel).

Se ha empleado el taquímetro para llevar a cabo un levantamiento del interior de la sala de gravimetría de Yebes, incluyendo los centros de los pilares de medida.

- Receptor GNSS Leica 500; Consiste en un receptor de bifrecuencia. Dotado de un receptor SR530 y un terminal AT502. Permite realizar medidas en cinemático en tiempo real, post-proceso, estático y estático rápido, RTK, entre otras..

Con este instrumento se llevan a cabo las observaciones para la determinación de las coordenadas que componen la red del TFG.

- Gravímetro Scintrex CG-5; Se trata de un instrumento que realiza medidas relativas de la gravedad. El sensor de medida que lleva incorporado es de cuarzo fundido con anulación de la electrostática y la precisión que se obtienen con él es de 1 μGal . Se ha empleado para llevar a cabo medidas de relativas de la gravedad entre los siete pilares del Pabellón de Yebes.
- Giroscopio Wild GAK1; Instrumento mediante el cual se determina la dirección del norte geográfico con un error medio de $\pm 30''$ en 20 minutos aproximados de medición. Se emplea para determinar la orientación de los pilares de medida del Pabellón de Yebes con respecto al norte geográfico.

- Teodolito Wild T2. Teodolito de precisión 1". Dicho instrumento se emplea para desarrollar proyectos que requieran altas precisiones. En el caso del presente TFG se utiliza dicho teodolito de forma conjunta con el giroscopio para determinar la dirección del norte geográfico.

Por otro lado, para poder llevar a cabo el cálculo y procesamiento de la información generada es imprescindible el uso del siguiente software:

- LEICA Geo Office 7.0; Software que se emplea para el cálculo de coordenadas a partir de observaciones GNSS. Esta versión de Leica combina la posibilidad de importar datos de diferentes fuentes (tipos de instrumentos). Soporta equipos GNSS, TPS e instrumentos nivelantes. Permite gestionar el proyecto de manera integrada, no hay necesidad de transferir datos entre distintos módulos. Combina datos GNSS y terrestres con un ajuste mínimo cuadrático. También permite realizar cálculos de cambio de Datum.
- Para el cálculo de la atracción que genera la estructura del Pabellón y para obtener las coordenadas de puntos en el interior y exterior del mismo se ha escrito en código una serie de programas. Para ello, se ha empleado el entorno de desarrollo gratuito de código abierto NetBeans 8.0 IDE. Se trata de una herramienta que permite editar, compilar, depurar y ejecutar código de programación. Está escrito en Java, pero también hay versiones para otros lenguajes de programación.

4. METODOLOGÍA

El proyecto se estructura en dos fases, quedando la primera dividida en cuatro subfases y la segunda en cinco (figura 4.1).

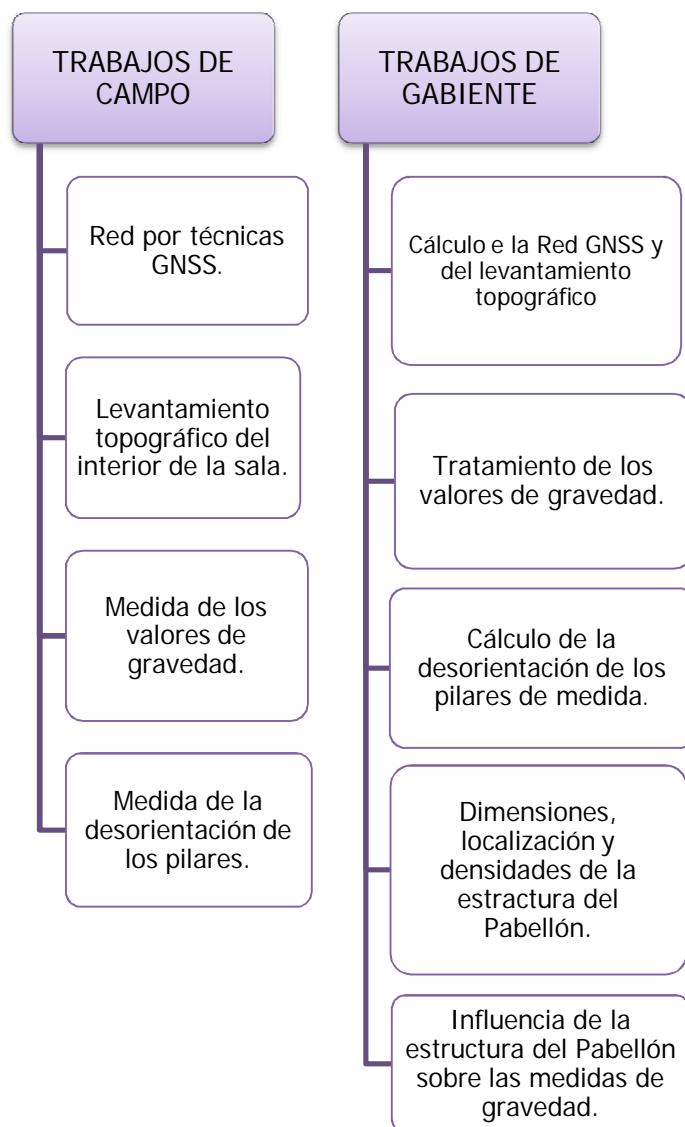


Figura 4.1. Esquema en el que se muestran los distintos apartados que conforman la metodología del proyecto.

Inicialmente se realizará un trabajo de campo en el que se diseña, observa y calcula una pequeña red local para posteriormente poder realizar un levantamiento del interior de la sala de medida teniendo como objetivo dotar de coordenadas, en el sistema oficial ETRS89, a los centros de los pilares sobre los que se realizan las medidas gravimétricas.

De forma simultánea se realizarán las observaciones de los valores relativos de la gravedad en los centros de los pilares de la sala. La generación de la red local, la realización del levantamiento, la medida de valores de gravedad y la medida de la desorientación de los pilares de medida componen la fase de campo del proyecto (figura 4.1).

Una vez se realicen las observaciones pertinentes se procede al trabajo de gabinete, dividido a su vez en cinco partes. La primera consiste en el cálculo de las coordenadas de los vértices de la red y de los puntos medidos en la radiación en el interior del Pabellón, entre ellos, se encuentran los centros de los pilares de medida. A continuación, se procesan los valores relativos de gravedad medidos. En la tercera, se calcula la desorientación de los pilares de medida del Pabellón con respecto a la dirección del norte geográfico. Posteriormente es necesario establecer las dimensiones, localización y densidades de las masas que componen la estructura del edificio. Para ello, se parte de los planos arquitectónicos del proyecto de edificación del pabellón. Sobre estos planos se medirán las magnitudes de las distintas estructuras que componen el edificio tales como techos, paredes, pilares, vigas y pilares de medida. Se asociarán dichas estructuras a prismas, cuerpos geométricos sencillos, dotando de coordenadas tridimensionales a los centros de dichos cuerpos. Como origen de coordenadas se considerará el centro de la sala. Para finalizar, se calcula la influencia de la estructura del Pabellón sobre cada uno de los centros de los pilares de medida. Para ello se crean programas en lenguaje de programación Java. El código generado se incluye en el apartado de anexos.

4.1. TRABAJOS DE CAMPO

4.1.1. Red por técnicas GNSS

Para poder llevar a cabo un levantamiento del interior del Pabellón y dotar de coordenadas oficiales en el sistema de referencia ETRS89 se decide generar una red mediante técnicas espaciales GNSS.

Previo a la observación desde los vértices que componen la red se estudia el área de trabajo y se proyecta una geometría adecuada para la posición de los mismos. La geometría tiene la restricción de visibilidad entre vértices. Debido a que posteriormente dichos vértices se van a emplear como puntos de estación para realizar trabajos por métodos de topografía clásica, deben poder visualizarse entre ellos. Desde cada vértice se debe poder visualizar con claridad otros tres. Como se muestra en la figura 4.2 la distribución no es homogénea alrededor del edificio, esto se debe a la abundancia de vegetación que disminuye la visibilidad. A pesar de no rodear completamente el edificio siempre es posible visualizar tres vértices desde cada uno de ellos y del mismo modo se ven todas las fachadas laterales que componen la edificación.

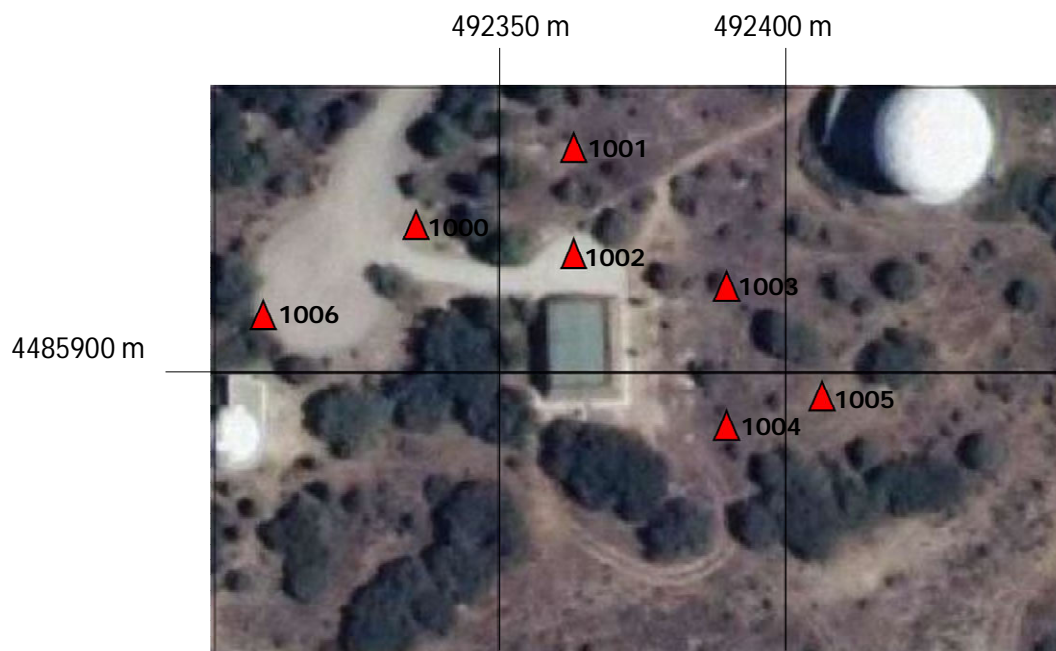


Figura 4.2. Fotografía aérea a escala 1:2000 en la que se muestran los vértices que componen la red (triángulos rojos).

Una vez se ha decidido la geometría de la red, es necesario definir la organización de la observación. Ésta depende del objetivo del trabajo, la precisión y la fiabilidad requerida. El objetivo final de la red GNSS es dotar de coordenadas oficiales a los centros de los pilares del interior del Pabellón de Gravimetría. El levantamiento topográfico se lleva a cabo para una escala 1:100, por lo tanto, como tolerancia planimétrica y altimétrica se consideran los valores que se muestran en las expresiones 4.1 y 4.2 respectivamente (Chueca, 1996).

$$\begin{aligned} \text{Tolerancia planimétrica} &= 0.2 \text{ mm} \times \text{denominador de la escala} = \\ 0.2 \times 100 &= 20 \text{ mm} = 2 \text{ cm} \end{aligned} \quad (4.1)$$

$$\text{Tolerancia altimétrica} = \frac{1}{4} \times \text{equidistancia} = \frac{1}{4} \times 2 \text{ m} = 0.5 \text{ m} = 50 \text{ cm} \quad (4.2)$$

El método elegido para la observación es estático rápido. El motivo por el que se elige un método estático es porque se quieren obtener las coordenadas de los vértices con precisiones inferiores a los 20 milímetros y porque las distancias existentes entre los vértices son inferiores a los 20 km. Es un método apto para trabajar con éste tipo de distancias. La precisión que se obtiene con este método es entre 5 y 10 mm + 1ppm (Núñez-García, et al., 1992).

Una peculiaridad de la red es que los ejes que la componen son demasiado cortos y esto puede generar posibles problemas a la hora de procesar los datos obtenidos en campo. La mayor distancia que se encuentra en la red es de 105 metros (entre los vértices 1005 y 1006) y la mínima es de 35 metros (entre los vértices 1001 y 1002).

Las observaciones se realizan con dos receptores, de este modo siempre observan de forma simultánea durante un tiempo necesario para alcanzar las precisiones deseadas. En nuestro caso el tiempo de observación simultánea es de quince minutos. Para la toma de datos se estaciona cada uno de los dispositivos en uno de los vértices. Se activan los dos receptores y una vez completados los quince minutos de observación en uno de ellos, se cambia el vértice de estación de éste. A continuación, tras transcurrir otros quince minutos, se modifica la posición del que anteriormente había quedado fijo y se vuelve a observar durante quince minutos.

Se procede de igual forma para todos los vértices realizando revisitaciones (se efectúan observaciones dos veces en cada vértice).

Durante todo el proceso de observación es imprescindible tener en cuenta el GDOP (Geometric Dilution Of Precision). Es un indicador de precisión que suministra una incertidumbre como consecuencia de la posición geométrica de los satélites y de la precisión temporal. Es una componente adimensional que se puede conocer durante las observaciones. Gracias a él se estima si la observación es aceptable. El valor ideal para dicho parámetro es uno y en todo momento de la observación es necesario controlar que dicho parámetro tenga siempre un valor admisible (<4).

En el proceso de medida se anotan las horas de observación correspondientes a los distintos vértices, las alturas del equipo en cada uno de ellos y se realizan fotografías para poder realizar posteriormente una reseña de cada vértice. Dichas anotaciones se incluyen como datos de campo en el apartado de anexos.

4.1.2. Levantamiento topográfico

Una vez se dispone de las coordenadas de los vértices de la red se procede a transferir el sistema oficial de coordenadas al interior de la sala para poder llevar a cabo una radiación de la misma, incluidos los centros de los siete pilares de medida. El sistema de referencia y la proyección sobre la cual se materializan los puntos medidos es el ETRS89, UTM, hemisferio norte, huso 30.

Previo a la toma de datos es necesario realizar comprobaciones del estado del taquímetro que se emplea para el desarrollo de esta fase del proyecto.

- Comprobaciones angulares. Cuantificar errores sistemáticos en la medida de ángulos cenitales y acimutales empleando el método de vuelta de horizonte.
- Se comprueban los posibles parámetros introducidos por defecto en el taquímetro.

Para poder conocer los errores y la precisión a priori del trabajo a realizar se lleva a cabo un cálculo de los mismos, los cálculos se adjuntan en el apartado de anexos. Dichos cálculos sirven de apoyo en el trabajo de campo para poder considerar si los resultados obtenidos son tolerables o no.

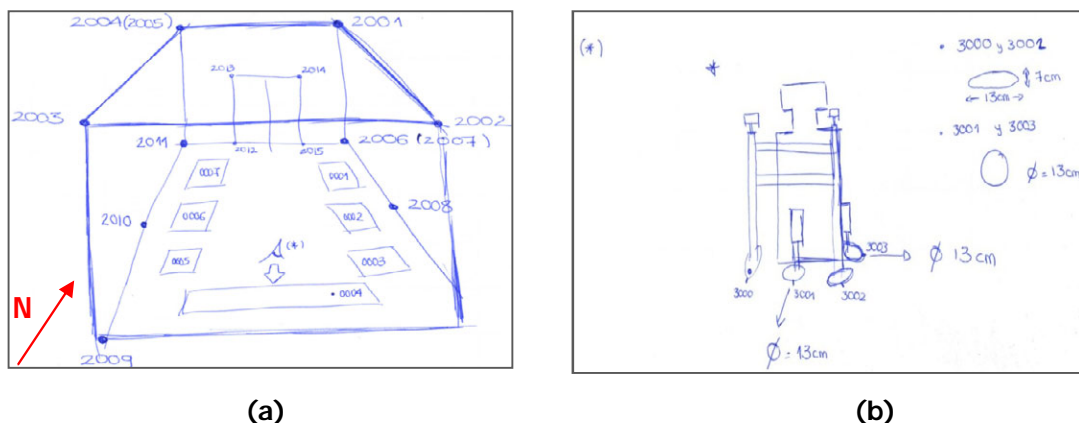
Tras estudiar el área de trabajo se decide estacionar en un punto que es aproximadamente el centro de la sala. Para poder transferir las coordenadas del la red exterior al interior de la sala es necesario efectuar observaciones desde el punto escogido como origen de la radiación a puntos del exterior. La situación que provoca la geometría del levantamiento se denomina como punto destacado. Es decir, solo se puede visar a dicho punto y desde él mismo a un punto de coordenadas conocidas. En nuestro caso, el punto de coordenadas conocidas es el vértice 1002. Inicialmente se estaciona en el vértice 1002. Se visa a tres puntos de la red (vértices de coordenadas conocidas) para así poder calcular posteriormente la desorientación del punto de estación y también se determina una referencia lejana y reconocible sobre la que se sitúa el origen de la posición cero del aparato. A continuación, se realizan medidas angulares y de distancia al punto del centro de la sala mediante el método de la vuelta de horizonte, dicho punto se denomina 1007.

Posteriormente, se estaciona en el punto 1007 y se realizan nuevamente medias angulares y de distancia en círculo directo (CD) y círculo inverso (CI) al vértice 1002. A continuación, se procede de igual forma para todos los puntos considerados a medir de la sala. Se observa a las esquinas superiores e inferiores de la sala, los centros de los pilares sobre el suelo, los cuatro puntos que determinan el marco de la puerta y dos puntos intermedios en las paredes. La vuelta de horizonte se completa observando de nuevo al vértice 1002 (figura 4.3).



Figura 4.3. Imagen tomada durante el levantamiento llevado a cabo en el interior del Pabellón.

De forma simultánea a la observación se realiza un croquis (figura 4.4) de la sala y se toman los valores obtenidos en unos estadillos.



En el proceso de radiación se realizan medidas de dos maneras distintas. Para los puntos situados en las esquinas se emplea la medida de distancias RL, visible corto. Consiste en una medida sin necesidad de emplear prisma. Se emite un láser rojo visible sobre el punto que se desea medir. El modo corto o estándar se emplea para distancias menores o iguales a los quinientos metros. Por otro lado, para el resto de puntos medidos se emplea la medida de distancias sin reflector, válido para medidas desde el metro y medio hasta los trescientos metros, sin necesidad de emplear prisma.

4.1.3. Medida de los valores de gravedad

Como siguiente punto del trabajo se realizaron medidas relativas de gravedad entre los pilares del Pabellón (figura 4.5, a). Para esta fase se empleó el gravímetro relativo Scintrex CG5#811. Para la realización de las medidas se colaboró con el personal del IGN.

El trabajo previo a estas medidas fue una verificación del equipo por parte del personal del IGN. Se analizó en detalle el valor de la deriva instrumental y se realizó la calibración de la instrumentación mediante la comprobación de los registros del gravímetro en modo continuo, con las observaciones de un gravímetro absoluto (A10#006) y uno superconductor (GWR OSG-064).

Como punto de partida, se eligió el pilar siete, considerado como pilar de referencia (figura 4.5, b). A dicho pilar se le asignó el valor cero de gravedad y además fue el elegido para llevar a cabo el control de la deriva instrumental. Por lo tanto, el valor de gravedad del resto de los pilares es relativo al valor obtenido sobre el pilar de referencia.

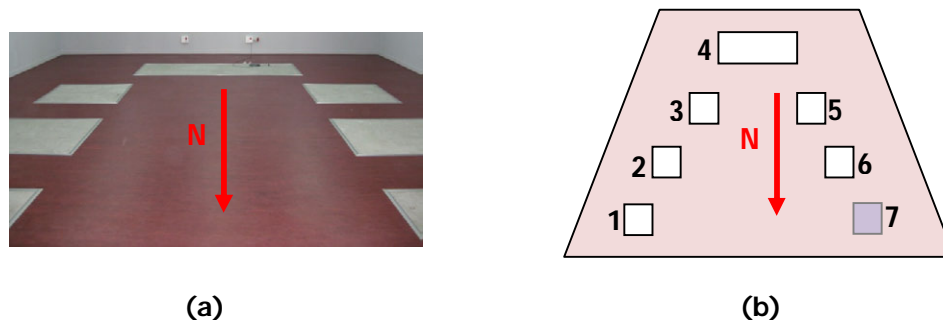


Figura 4.5. Representación de la distribución de los pilares dentro de la sala de medida. A la derecha (a) se muestra una imagen de la sala. A la izquierda (b) se representan, con la misma distribución que en la imagen (a), los pilares indicando su numeración.

Las observaciones se realizaron según los siguientes pasos:

- Se toman unas coordenadas aproximadas del pabellón para introducirlas en el gravímetro como coordenadas aproximadas de los puntos de estación. El instrumento internamente, genera una corrección de marea a la medida tomando como referencia éstas coordenadas. Para ello se emplea el receptor GPS que se puede acoplar al gravímetro. Se estaciona el instrumento fuera de la sala para poder obtener señal GPS y se toman las coordenadas obtenidas.
- Se estaciona el instrumento sobre cada pilar, en un trípode y se realiza una nivelación previa mediante el movimiento de los tornillos de las patas del trípode.
- Se asigna a cada punto un identificador que se introduce como parámetro a través del software del gravímetro.
- Se indica, también a través del software, las correcciones que se desean incluir. Para este proyecto se incluyen correcciones por marea terrestre (Longman, 1959), de inclinación instrumental, se aplica un filtro sísmico (elimina las altas frecuencias) y se aplica una corrección por temperatura ambiente. No se incluye la corrección por terreno ya que de momento sólo se obtienen los valores relativos entre pilares.
- Se elige un tiempo de observación en cada punto a medir. Se realizan veinte observaciones de treinta segundos cada una.
- Nuevamente se nivela el instrumento mediante los tornillos del trípode. En la pantalla se muestran tanto unos valores numéricos como gráficos de los niveles. Se parte de una tolerancia inicial para la desviación de la vertical de tres segundos sexagesimales. La determinación de dicha tolerancia se ha basado en las observaciones previas realizadas por el IGN, si durante la medida se superan los quince segundos sexagesimales se detendría la medida y previa nivelación se volvería a medir de nuevo. Una vez superado éste umbral la corrección por niveles que realiza el software del gravímetro no es del todo precisa.

- Una vez que se han introducido todos los parámetros necesarios en el gravímetro y se han comprobado los niveles del instrumento se mide la altura del mismo. Para todos los puntos de una misma "campana" es imprescindible reducir todas las medidas al mismo punto del instrumento pues al tratarse de medidas relativas de gravedad, será necesario reducir todas las medidas a una misma altura en la fase de post-procesado.
- Se procede entonces a la toma de datos. Para ello lo ideal es alejarse del instrumento y activar la toma mediante un mando a distancia, interfiriendo así mínimamente en el instrumento.
- Las observaciones se llevan a cabo comenzando siempre por el pilar de referencia, en éste caso el siete (figura 4.5, b), a continuación se toman medidas en dos o tres pilares diferentes y se vuelve al pilar de referencia (al menos en tres ocasiones por itinerario). Se repite el procedimiento hasta tener observaciones en todos los pilares. El último pilar medido vuelve a ser siempre el de referencia. Si durante el registro sobre un pilar se observa cualquier anomalía se detiene el registro y se realiza de nuevo la nivelación y la medida sobre el pilar correspondiente. Finalmente, en la pantalla del gravímetro se van mostrando los resultados obtenidos durante la medida así como distintos parámetros (figura 4.6). Tras finalizar cada bloque de veinte medidas se muestra en pantalla un resultado de las dos últimas medidas (figura 4.6, b).

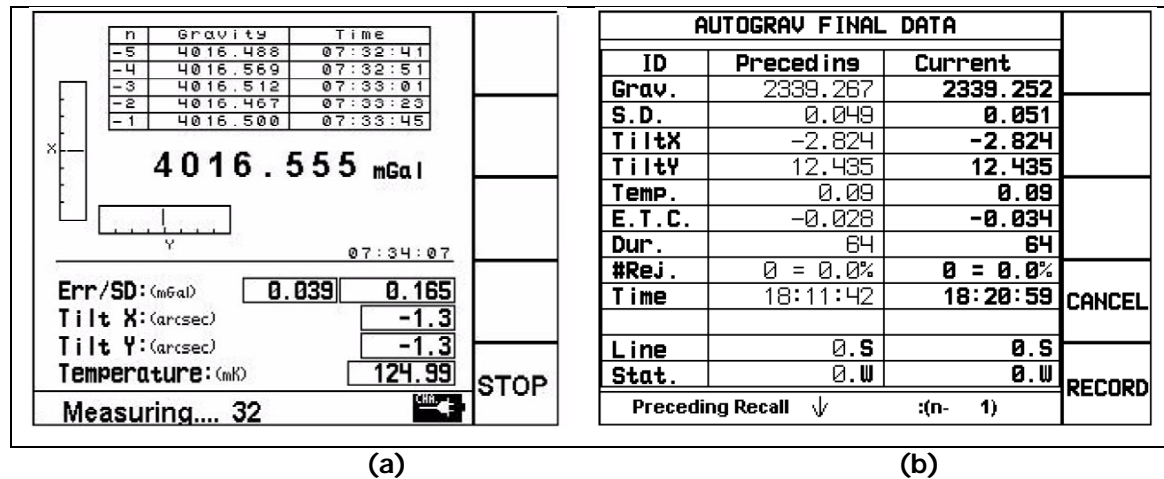


Figura 4.6. Se muestran dos imágenes de la pantalla del gravímetro tras realizar una medida. Describiendo los parámetros de arriba a abajo, la figura (a) muestra las medidas de los seis últimos bloques de treinta segundos y a continuación se muestra la medida puntual sin correcciones, ambas medidas se expresan en miligales. En la parte inferior de la pantalla se muestra la desviación estándar de la medida puntual, la posición de los niveles, la corrección por temperatura y el número de medida. En la figura (b) se encuentran los parámetros que acompañan a las dos últimas medidas realizadas.

- Como último paso, si todo ha salido correctamente, se graba el registro en la memoria interna del gravímetro. Paralelamente se toma nota en un cuaderno de algunos parámetros de cada medida, así como las observaciones e incidencias.

4.1.4. Desorientación de los pilares de medida

Tras la visualización en AutoCAD de la sala con las coordenadas obtenidas en campo se observa una ligera desviación de los pilares del edificio respecto a la orientación de la sala en los planos de construcción (figura 4.7). Para verificar si esta desorientación es real, se decide comprobar la desorientación mediante la realización de observaciones con un teodolito giroscopio. Empleando éste método se puede determinar el valor del acimut geográfico realizando únicamente un promedio de algunas lecturas del círculo horizontal del teodolito.

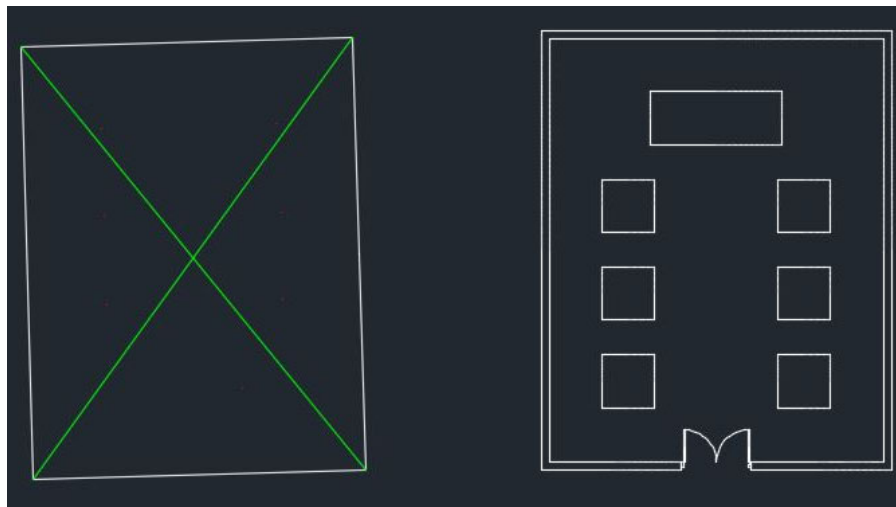


Figura 4.7. Planos de la planta del edificio. A la izquierda se muestra el plano obtenido tras realizar el levantamiento del interior del Pabellón. A la derecha se muestra el plano en planta de los planos iniciales. Se puede observar la desorientación existente.

El método empleado para las observaciones es el método de los puntos de elongación máxima (Schüler). Se escoge dicho método pues es preciso. La cinta de suspensión no sufre torsión y por lo tanto la oscilación no queda influenciada. La precisión del método está limitada por la precisión de la puesta en coincidencia de la marca del giroscopio con el centro de la escala, cuyo error medio se encuentra aproximadamente entre $\pm 6''$ y $\pm 10''$. Es necesario que la alidada sea conducida de una manera casi ideal durante toda la medición para disminuir el error de torsión.

Se estaciona sobre un pilar de medida con un taquímetro dispuesto con giróscopo (figura 4.8). Se orienta aproximadamente el anteojo del teodolito hacia el norte. La orientación se agiliza al conocerse de forma aproximada la dirección del norte geográfico.

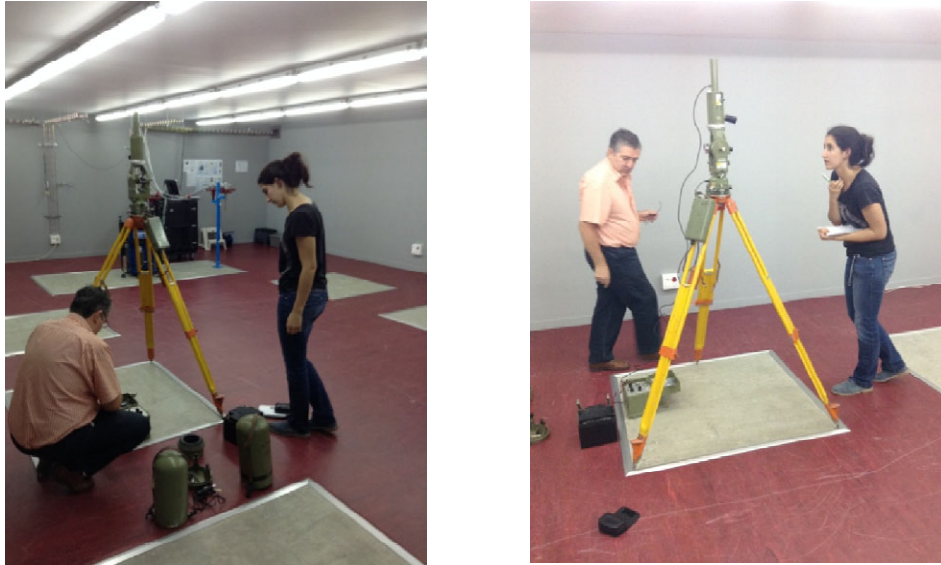


Figura 4.8. Imágenes tomadas en el momento de observación de la desorientación de los pilares de medida.

Posteriormente se libera el giroscopio. Mediante el movimiento fino de los tornillos de la alidada se sigue la oscilación del giroscopio manteniendo la marca del giroscopio continuamente en el centro de la escala. Se efectúa la lectura correspondiente al punto de elongación máxima en el círculo horizontal del teodolito. Según Schuler, la media de cada tres puntos de elongación máxima sucesivos u (figura 4.9) proporciona la lectura del círculo que señala la dirección del norte verdadero (expresión 4.3).

$$\begin{aligned} N_1 &= \left(\frac{u_1 + 3u_2 + 3u_3 + u_4}{8} \right) \\ N_2 &= \left(\frac{u_3 + 3u_4 + 3u_5 + u_6}{8} \right) \\ N &= \frac{N_1 + N_2}{2} \end{aligned} \quad (4.3.)$$

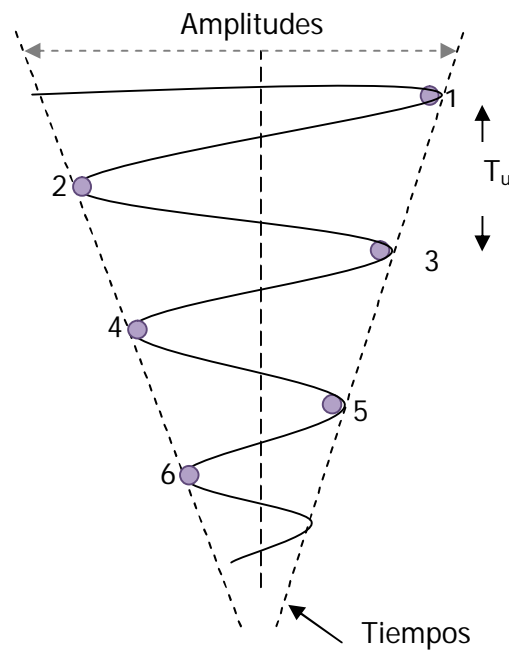


Figura 4.9. Gráfico del método de medida de los puntos de elongación máxima o de Schuler.

Se toman seis puntos de elongación máxima (figura 4.9) observando en sentido norte. Se realizan dos marcas sobre la pared en sentido norte y dos marcas sobre los pilares uno y tres (figura 4.5), (figura 4.10). La línea que une los puntos señalados es la línea que indica la dirección del norte.

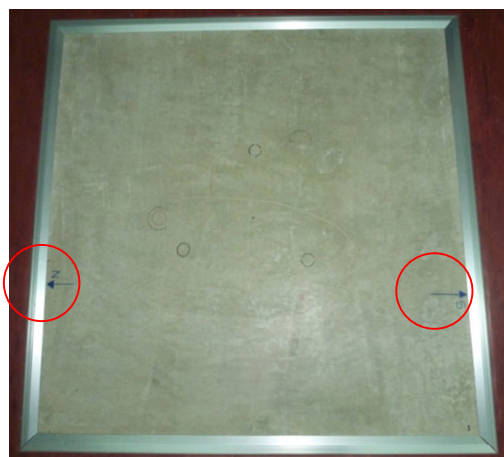


Figura 4.10. Fotografía del pilar uno de medida en el que se muestran las marcas realizadas sobre él y que definen la dirección norte-sur (izquierda-derecha).

4.2. TRABAJOS DE GABINETE

En el apartado correspondiente al trabajo elaborado en gabinete se explican los distintos procesos que se han llevado a cabo para obtener las coordenadas de los vértices de la red y de los puntos radiados, tratamiento de los valores de gravedad, el cálculo de la desorientación de los pilares de medida, la determinación de las masas que componen el edificio para el cálculo de la atracción de estas masas sobre los distintos pilares de medida.

4.2.1. Cálculo de la Red GNSS

Al observar mediante posicionamiento GNSS, las coordenadas que se obtienen son geodésicas asociadas al elipsoide WGS84. Como producto final se persigue obtener coordenadas referidas al elipsoide GRS80, elipsoide que conforma el sistema de referencia ETRS89, y a la proyección UTM, uso 30, hemisferio norte. El cálculo de coordenadas se lleva a cabo en post proceso. Se sigue el flujo de trabajo que queda determinado en la figura 4.11.

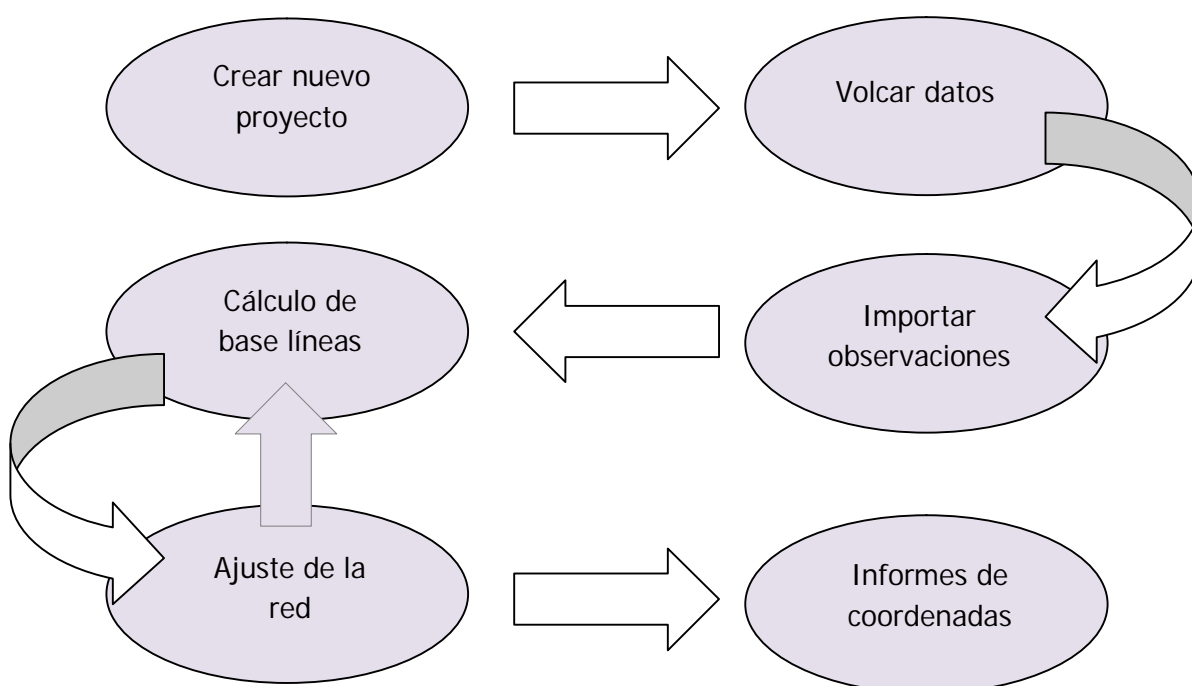


Figura 4.11. Esquema en el que se indica el flujo de trabajo a seguir en el apartado de trabajo de gabinete de la red GNSS.

Para comenzar con el procesado de observaciones se crea un nuevo proyecto en LEICA Geo Office. Debe quedar indicado el sistema de referencia, el geoide asociado y la proyección sobre la cual queremos obtener las coordenadas finales. Como geoide de referencia se toma el geoide oficial de IGN, EGM08_RED NAP para la península.

Para proceder al cálculo de la red es necesario descargar de la página oficial del IGN las observaciones brutas de las antenas fijas con las que se ha decidido trabajar, en el caso de la red correspondiente al proyecto, se trabajó con las antenas YEBE y YEB1, situadas en el mismo Observatorio Astronómico de Yebes. El formato de las observaciones de las antenas debe ser RINEX, se descargan observaciones horarias cada segundo (IGN, 2014). También es necesario descargar los ANTEX de las dos antenas y los datos de las efemérides precisas. Previo a la incorporación de las observaciones de las antenas de las estaciones permanentes hay que comprobar que el software empleado tiene incorporadas adecuadamente las coordenadas de dichas estaciones. Para ello se descargan las reseñas de las mismas. Una vez se comprueban dichas coordenadas y antes de poder trabajar con los RINEX de las estaciones permanentes es necesario descomprimirlos, pues están comprimidos según el algoritmo Hatanaka. Así mismo, es necesario eliminar de los RINEX las observaciones de L5 debido a que el software que se va a emplear para el cálculo de coordenadas trabaja únicamente con L1 y L2.

Ahora sí, se incorporan las observaciones brutas de las estaciones permanentes y las observaciones obtenidas en campo (figura 4.12). Posteriormente se incorporan los archivos de calibración de las antenas, ANTEX, y las efemérides precisas. A continuación, es necesario identificar los posibles errores de codificación de los vértices, tipo y nombre de la antena empleada, magnitud de la altura de la antena e incluso el tipo de medida que se realizó para tomar dicha altura. Del mismo modo, se comprueba que entre todas las observaciones hubo solapes adecuados que permitan el cálculo de las coordenadas buscadas.

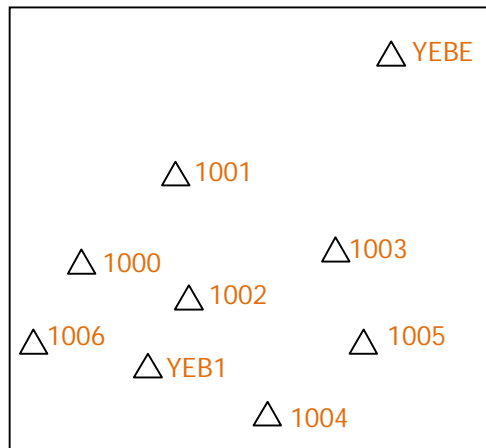


Figura 4.12. Distribución geométrica de los vértices que componen las estaciones permanentes que se han empleado como referencia, YEBE y YEB1.

El cálculo de las líneas base se lleva a cabo en dos pasos. Primero se crea una red libre o mínimamente constreñida. Consiste en generar líneas base entre los vértices de la red sin considerar las estaciones fijas oficiales. Para ello se dota de coordenadas a tres vértices a partir de las fijas. De este modo, se asigna orientación y escala a la red mínimamente constreñida. El factor que determina los puntos a los cuales se dota de coordenadas a partir de las estaciones permanentes es el tiempo de observación. Por ello, se toman los vértices 1001, 1003 y 1004. Se introducen las precisiones a priori. Hay que tener en cuenta posibles errores por la sensibilidad del nivel esférico, la incertidumbre que pueda generar la altura y el centrado de la estación. De igual modo se asigna el valor de sigma a priori, considerándose como 15. Dichos parámetros se definen en función de los grados de libertad del ajuste. Se lleva a cabo un ajuste de las líneas base obtenidas y se estudia el informe con los resultados obtenidos, dichos informes se incluyen en el apartado de anexos. Posteriormente se consideran los vértices anteriores (1004, 1003, 1004) como fijos y el resto de puntos como móviles. En este caso no se consideran las estaciones permanentes. Se obtienen las coordenadas del resto de los puntos de la red y siempre se comprueban los resultados obtenidos tras el ajuste.

Por último, se calcula una red constreñida. Consiste en mejorar las coordenadas de todos los vértices de la red sometiéndolas de nuevo a un ajuste. En esta ocasión se tienen en cuenta las estaciones permanentes. De este modo se enlaza la red local formada por siete vértices a la red oficial.

4.2.1. Cálculo de la Radiación

El tipo de datos que se procesan en éste apartado son medidas angulares y de distancia obtenidas en el Pabellón mediante topografía clásica.

Inicialmente se depuran las observaciones. Se comprueba que la codificación de los puntos es la adecuada y también que las alturas de instrumento y jalón son las verdaderas. A continuación, se calcula la desorientación del vértice 1002 para posteriormente, mediante el método de poligonal dotar de coordenadas al punto 1007. Una vez se dispone de las coordenadas del punto 1007, se dota de coordenadas a los puntos observados mediante el método de radiación. Posteriormente y para finalizar el cálculo de coordenadas se lleva a cabo un estudio de la precisión del mismo. Se lleva a cabo un cálculo de la transmisión de errores para la distancia mínima, máxima y media obtenida en campo.

Las coordenadas obtenidas y los resultados de la transmisión de errores se muestran en el apartado de resultados obtenidos.

4.2.3. Tratamiento de los valores de gravedad

Tras la toma de las medidas, se descargan los datos almacenados en el gravímetro en un ordenador a través de un puerto USB. Los ficheros se pueden descargar en un formato de texto que muestra los siguientes parámetros.

- Identificador del punto.
- Temperatura interna, °C.
- Hora, hh:mm:ss.
- Fecha, DD/MM/AAAA.
- Valor de la gravedad con las correcciones por deriva, marea terrestre, variación de los niveles y temperatura interna del instrumento, indicadas en la fase de trabajos de campo, mGal.
- Valor de la inclinación de los niveles en segundos sexagesimales.
- Corrección por temperatura, mGal.
- Corrección por marea (basada en la fórmula de Longman (1959)), mGal.
- Tiempo de observación, s.

Tabla 4.1. Fichero de observaciones con el gravímetro relativo Scrintrex CG5#811.

PUNTO	T°	FECHA/HORA	G(mGal)	X Lev	Y Lev	T. Corr	TIDE	TIEMPO	REJECT
1	29,5896	07/04/2014 7:56	4810,099	-5	-4,8	-3,03	-0,003	30	3
1	29,3455	07/04/2014 7:56	4810,104	-4,8	-5,5	-3,03	-0,002	30	17
1	29,3455	07/04/2014 7:57	4810,099	-4,6	-6,3	-3,03	-0,002	30	0
1	29,3455	07/04/2014 7:58	4810,099	-4,1	-6,7	-3,02	-0,001	30	0
1	29,3455	07/04/2014 7:58	4810,099	-4	-6,8	-3,02	-0,001	30	0
1	29,3455	07/04/2014 7:59	4810,099	-4,1	-6,8	-3,02	0	30	0
1	29,1014	07/04/2014 7:59	4810,098	-4,1	-7	-3,03	0	30	0
1	29,3455	07/04/2014 8:00	4810,097	-4,4	-7,1	-3,03	0	30	0
1	29,3455	07/04/2014 8:00	4810,097	-4,3	-7,3	-3,04	0,001	30	0
1	29,3455	07/04/2014 8:01	4810,095	-4,5	-7,3	-3,04	0,001	30	0
1	29,3455	07/04/2014 8:02	4810,097	-4,2	-7,5	-3,05	0,001	30	0

Todos estos datos se trasladan a una hoja Excel para realizar el tratamiento de los mismos.

Los pasos seguidos en dicho tratamiento son:

1. Se elimina la corrección por marea proporcionada por el instrumento basada en la aproximación de Longman (1959), y se sustituye por un modelo más preciso obtenido de forma experimental por medio del gravímetro superconductor estacionado en el pabellón de gravimetría (GWR OSG-064), (Córdoba, 2013), (figura 4.13).

Tidal model for Yebes estimated from 1 year SG064 data			
Wave Group	Amplitude (nm/s ²)	δ	Phase lead (°)
O1	306.8689	1.14700 ± 0.00011	-0.2460 ± 0.0056
P1	142.7616	1.14682 ± 0.00022	0.2985 ± 0.0112
M1	24.1213	1.14307 ± 0.00138	0.6714 ± 0.0692
K1	431.3948	1.13423 ± 0.00008	0.3993 ± 0.0040
M2	434.3410	1.15058 ± 0.00006	4.4293 ± 0.0032
S2	202.0597	1.18180 ± 0.00014	2.8033 ± 0.0067
K2	54.9064	1.17959 ± 0.00057	2.9771 ± 0.0279
M3	6.4912	1.06444 ± 0.00160	-0.6367 ± 0.0860

Figura 4.13. Se muestran los distintos parámetros de marea que han calculado personal del IGN gracias a las observaciones realizadas con el gravímetro superconductor.

2. Se corrigen los valores de gravedad por la pequeña diferencia de altura instrumental producida en cada estacionamiento (Qianshen, et al., 1996; Heiskanen, et al., 1981; Tsuboi, 1979), reduciendo todos los valores de gravedad a nivel del suelo. Para ello se emplea el valor del gradiente vertical teórico ($\gamma = -0.003086$ mGal/cm). Obteniendo la corrección mediante la expresión:

$$0.003086 \text{ (mGal/cm)} \times h \text{ (cm)} = \rho \text{ (mGal)} \quad (4.4)$$

$$\Delta g(h) = g \text{ (mGal)} + \frac{\rho}{1000} = m\text{Gal} \quad (4.5)$$

Siendo h la altura del gravímetro y g el valor de gravedad corregido por marea según el modelo experimental (GWR OSG-064).

3. A continuación, se corrigen los valores de gravedad por deriva instrumental. Para ello se representan en una gráfica todos los valores de gravedad observados sobre el pilar de referencia (7) y la hora de cada observación, en cada itinerario (figura 4.14). Teniendo en cuenta que el valor de gravedad en un punto debería mantenerse constante, podemos ajustar los valores obtenidos a una recta cuya pendiente nos proporciona la deriva instrumental.

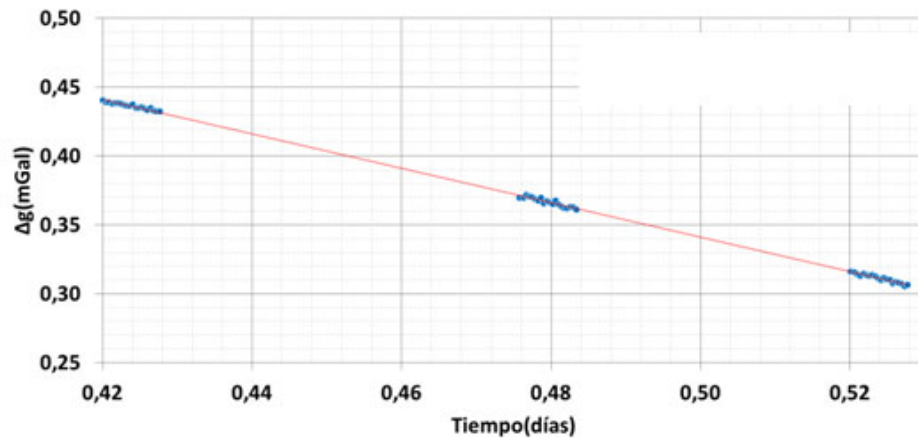


Figura 4.14. Representación de la deriva instrumental durante un itinerario de medida de marzo de 2014. Los círculos azules representan los valores corregidos de marea, inclinación y temperatura, registrados en el pilar siete durante el itinerario. En rojo representa el ajuste lineal de dichos valores a lo largo del tiempo.

4. Por tanto, para cada tiempo de observación se aplica una corrección diferente.

$$\delta(t - t_0) = \Delta g_i(t - t_0) \times (t - t_0) \quad (4.6)$$

Siendo $(t-t_0)$ el tiempo para cada una de las observaciones sobre un mismo pilar y $\Delta g_i(t-t_0)$ el valor de deriva para cada uno de los pilares.

5. Para corregir los valores observados de la deriva se elimina el valor obtenido del valor de gravedad ya corregido de marea y altura.

$$\Delta g(\text{deriva}) = \Delta g(h) - \delta(t - t_0) = mGal \quad (4.7)$$

Siendo $\Delta g(h)$ el valor de deriva corregido por altura (apartado 2) y $\delta(t-t_0)$ la corrección por deriva para cada tiempo de observación sobre un mismo pilar.

6. Una vez se tienen todos los valores de gravedad corregidos en cada punto de observación y en cada instante de tiempo t , se calculan los valores relativos de gravedad en cada pilar respecto al de referencia. Haciendo todas las combinaciones posibles entre las observaciones de cada pilar (i) y las correspondientes al pilar de referencia, es posible realizar un análisis estadístico de los valores relativos, obteniendo una media (expresión 4.8) y una desviación estándar (expresión 4.9).

En el apartado de resultados obtenidos se muestra una tabla con los valores relativos de gravedad para cada uno de los pilares de medida.

$$\Delta g_{i,ref} (= \frac{\sum_1^n (\sum_1^m (\Delta g_{ref,m} - \Delta g_{i,n}))}{n \times m}) = mGal \quad (4.8)$$

$$\text{varianza: } s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1} \quad (4.9)$$

Siendo en la expresión 7.8, $\Delta g_{ref,m}$ los valores de gravedad observados sobre el pilar de referencia y corregidos según los puntos anteriormente explicados, $\Delta g_{i,n}$ los valores de gravedad observados sobre cada uno de los pilares y corregidos según los puntos anteriormente explicados, n el número de observaciones realizadas sobre cada uno de los pilares, excepto sobre el de referencia y m el número de observaciones realizadas sobre el pilar de referencia.

4.2.4. Cálculo de la desorientación de los pilares de medida

Tras las medidas realizadas sobre los pilares dos y tres del interior del Pabellón se dispone de seis valores de elongación máxima (valores angulares). Para obtener un valor medio de la dirección del norte geográfico es necesario llevar a cabo un pequeño cálculo (expresión 4.10).

$$\begin{aligned}
 N_1 &= \left(\frac{u_1 + 3u_2 + 3u_3 + u_4}{8} \right) \\
 N_2 &= \left(\frac{u_3 + 3u_4 + 3u_5 + u_6}{8} \right) \\
 N &= \frac{N_1 + N_2}{2}
 \end{aligned}
 \quad (4.10)$$

Una vez se obtiene un valor medio para la dirección del norte geográfico se calcula cuál es la desviación de los pilares con respecto dicha dirección. Para ello ha sido necesario tomar dos medidas sobre el pilar, la longitud del lado (figura 4.15, a) y la distancia desde el borde del pilar hasta los puntos marcados en campo como la dirección del norte verdadero (figura 4.15, distancias b1 y b2).

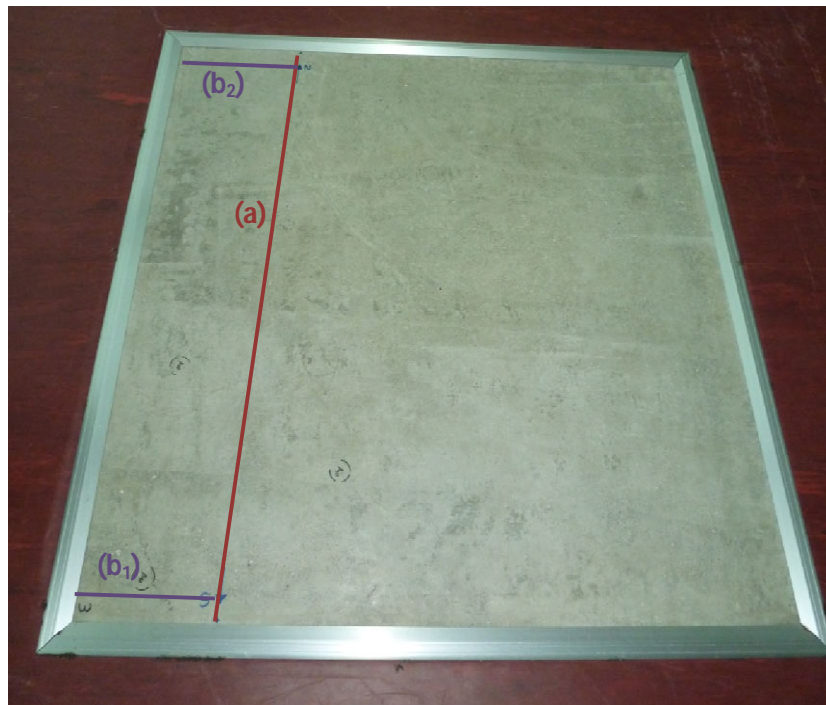


Figura 4.15. Fotografía del pilar tres sobre el que se indican las medidas tomadas para poder calcular la desviación del mismo con respecto la dirección del norte geográfico.

Se calcula la diferencia entre las distancias b_1 y b_2 y se construye un triángulo cuyos catetos son la diferencia anterior y la longitud del pilar (a) (figura 4.16).

$$\alpha = \text{Arc tan} \frac{\Delta b}{a}$$

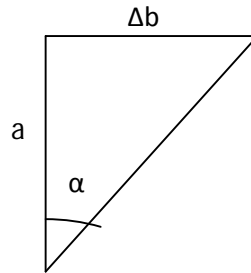


Figura 4.16. Triángulo en el que se muestran los catetos que lo componen y el ángulo α que se desea calcular. A la derecha del triángulo se muestra la expresión empleada para el cálculo de la desorientación.

Se obtienen dos valores angulares para la desorientación del pilar uno y tres. Dichos valores se muestran en el apartado de resultados obtenidos.

4.2.5. Dimensiones, localización y densidad de las masas de la estructura del Pabellón

La modelización del Pabellón de Gravimetría de Yebes se llevó a cabo mediante la composición de cuerpos geométricos sencillos, con el objetivo de calcular la influencia, en términos de atracción gravitatoria, que tiene dicho edificio sobre su entorno cercano. El modelo generado consta de un número finito de cuerpos prismáticos, de manera similar a la que se generan muchos modelos digitales del terreno para la realización de la corrección topográfica (Heiskanen, et al., 1981; Li, et al., 1998). La fórmula de la atracción gravitatoria que genera un prisma es exacta y resulta relativamente fácil de programar (Nagy, 1969).

$$F_z = G_p \left\| \left\| x \ln(y+r) + y \ln(x+r) - z \arcsin \frac{z^2 + y^2 + yr}{(y+r)\sqrt{y^2 + z^2}} \right\|_{x_2} \right\|_{y_1} \frac{z_2}{z_1}$$

Siendo G la constante de gravitación universal, p la densidad del objeto, r la distancia del prisma al punto sobre el cual se calcula la atracción, (x, y, z) el eje de coordenadas y (x1, y1, z1) y (x2, y2, z2) las coordenadas de los vértices del prisma.

Para la realización del modelo se dispuso de los planos de ejecución del proyecto de construcción del edificio de gravimetría de Yebes en formato digital facilitados por el IGN. El edificio se compone de dos estructuras principales: una estructura externa con forma de pirámide truncada y una sala interior con forma de prisma rectangular. Por otra parte el interior del edificio se compone a su vez de varias vigas y columnas visibles (figura 4.17). Podemos dividir por tanto la estructura total en paredes, techos, columnas y pilares. Utilizamos para el cálculo un sistema de coordenadas arbitrario definido según los ejes del edificio y centrado en el punto medio de la estructura interna (figura 4.17).

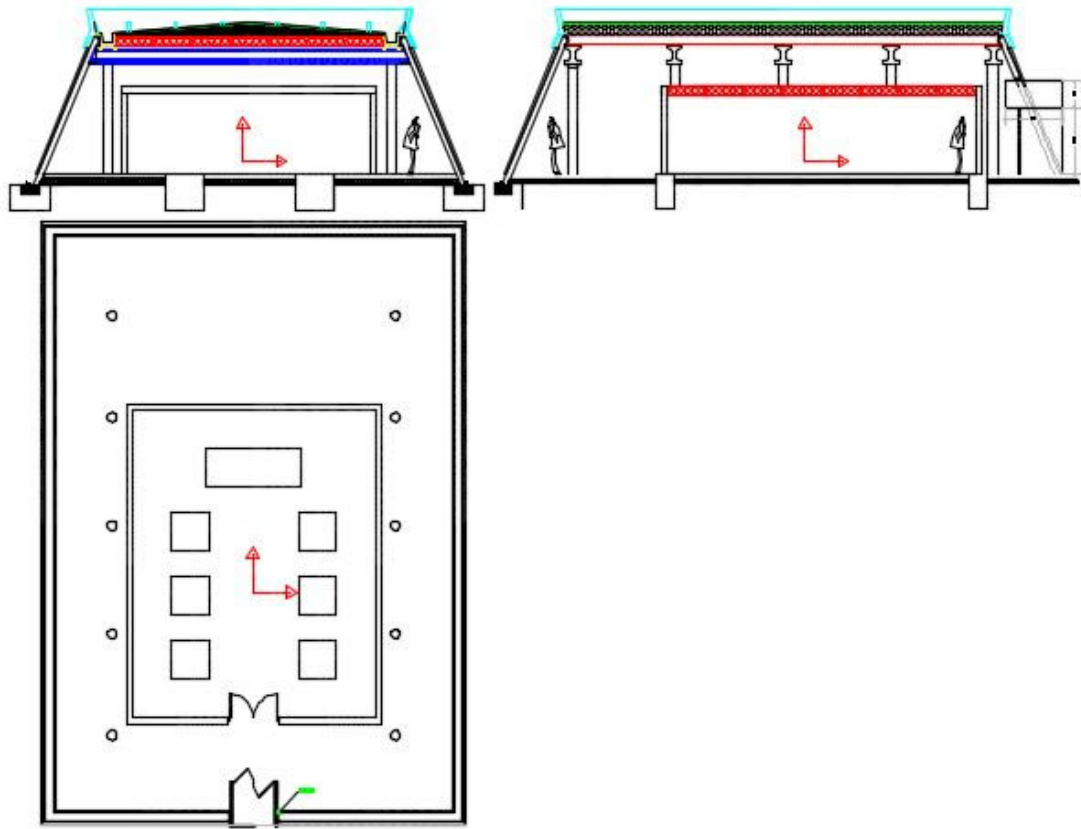


Figura 4.17. Vistas del edificio en el sistema de referencia local seleccionado. El alzado (arriba a la izquierda); perfil (arriba a la derecha); planta (abajo a la izquierda). En todos los casos el norte queda definido en dirección a la puerta de acceso.

Modelado de los elementos de la sala interior

La sala interior del Pabellón de Gravimetría se puede modelar mediante cinco prismas regulares que se ajustan a la forma de las paredes y otro prisma que modelaría el techo (figura 4.19, a). De los planos del edificio se pueden obtener tanto las dimensiones de estos prismas como el material empleado para su construcción. Las paredes son paneles de hormigón armado cuya densidad tabulada es 2400 kg/m³ (BOE, 2008). La puerta se modela mediante un prisma y su material es PVC con una densidad de 1390 kg/m³ (CTE (Código Técnico de Edificación), 2014). El techo, por otra parte, es una placa alveolar de hormigón armado. Pero a diferencia del caso anterior no se trata de un panel macizo, sino que su interior está formado por huecos de forma cilíndrica de radio 9 cm en la dirección del eje de coordenadas X (oeste-este) (figura 4.18).

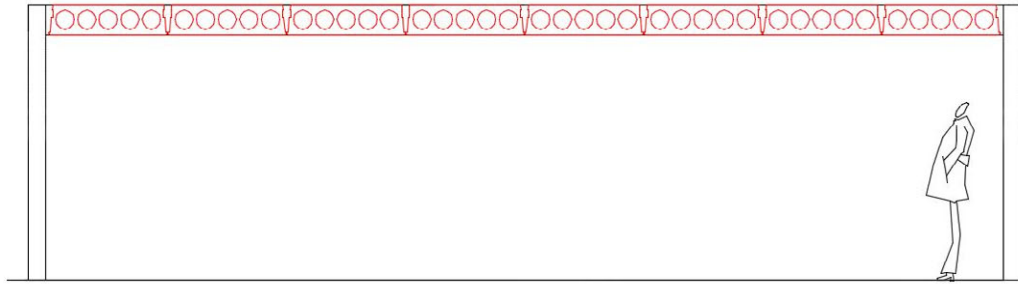


Figura 4.18. Sección del plano donde se muestra la forma alveolar de la placa de hormigón que constituye el techo de la sala interior del Pabellón.

Dado que la densidad de las placas alveolares de hormigón no se encuentra tabulada, se ha procedido a calcularla. Se divide el prisma horizontal en secciones de 22 cm de ancho con el hueco mencionado anteriormente en el interior (figura 4.19, b). La densidad media se obtiene a través del proceso indicado en la figura 4.19, b. Se obtiene una densidad media de 1477 kg/m³.

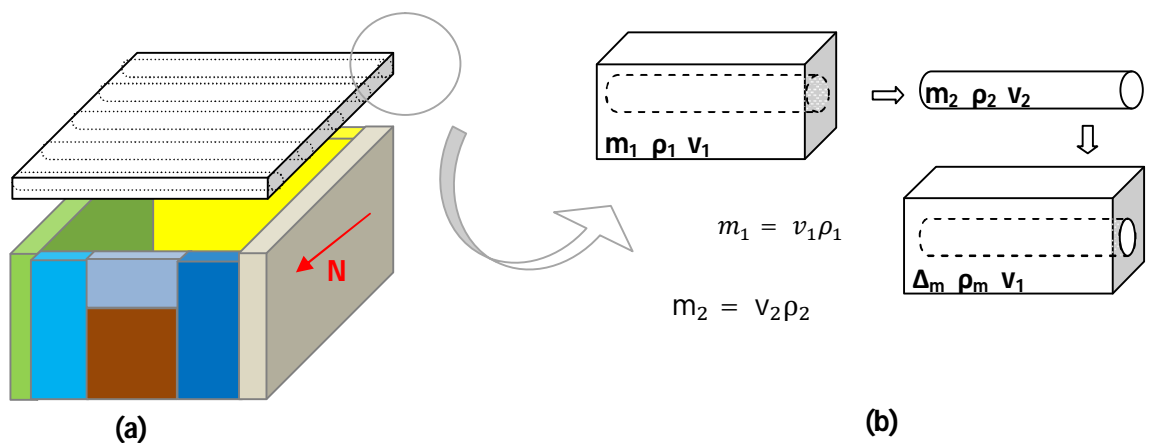


Figura 4.19. Esquema de la modelización de los prismas que componen la sala interior. La figura (a) se corresponde con los seis prismas verticales que modelan las paredes, uno que modela la puerta (marrón) y uno horizontal para el techo. La figura (b) se corresponde con una ampliación de los cilindros huecos que componen la placa alveolar del techo.

Modelado de los elementos del pasillo intermedio

Una vez se han medido todas las estructuras que componen la sala interior, se miden los diez pilares que se encuentran en la sala exterior (figura 4.20). Dichos pilares se denominan columnas para así poder diferenciarlos de los pilares de medida. Son cilindros de hormigón armado (2400 kg/m³). La fórmula exacta de la atracción de un cilindro en un punto externo a su eje es bastante compleja de programación (Parasnis, 1961; Nabighian, 1962), por lo que se ha optado por un modelo aproximado.

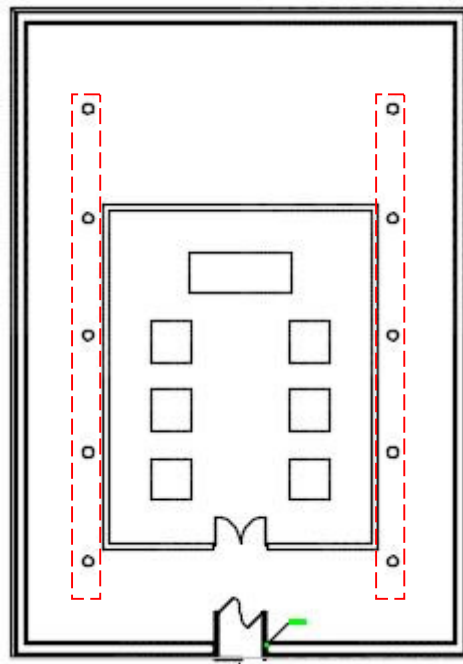


Figura 4.20. Plano en el que se muestra la distribución de los diez pilares que se modelizan en este apartado.

Para ello, se toma el círculo de radio 15 cm que se obtendría sobre el plano si se realiza un corte horizontal del cilindro. Inicialmente se calcula el caso para un cuadrado inscrito en dicho círculo y a continuación para uno circunscrito (figuras 4.21, a y b).

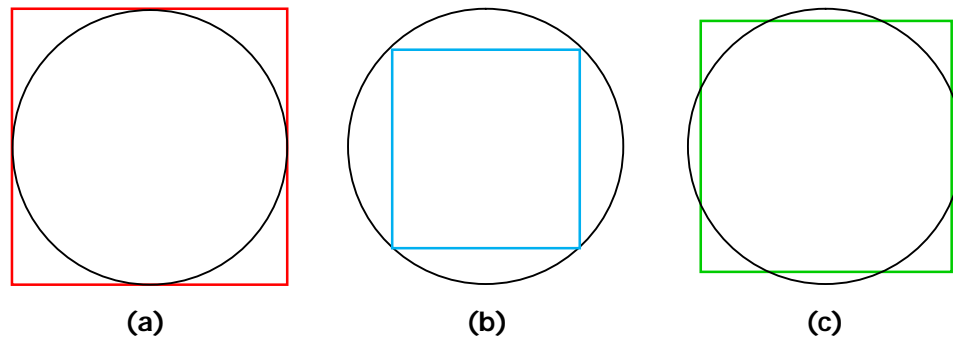


Figura 4.21. Modelizaciones de las columnas del pasillo intermedio en prismas rectos. La figura (a) muestra el caso de un prisma circunscrito, la figura (b) la de uno inscrito y la (c) se corresponde con el prisma intermedio de igual volumen al de la columna cilíndrica.

Si se considera el caso más desfavorable (máximo valor de la tabla 4.2, c) se observa que no se superan los 0.5 μGal . La precisión del gravímetro empleado es de 1-2 μGal , por lo tanto, la diferencia por considerar un caso u otro (figuras 4.21, a y b) afecta muy de leve manera a la influencia total del edificio. Por ello, se modelan las columnas cilíndricas mediante un prisma intermedio (figura 4.21, c) con el mismo volumen que la columna cilíndrica (expresión 4.12).

Tabla 4.2. Tablas que representan los valores de atracción generados por las diez columnas modelizadas sobre los pilares de medida. La tabla (a) se refiere a las columnas modelizadas como prismas circunscritos, la tabla (b) a la modelización de las columnas como prismas inscritos y la (c) se corresponde con la diferencia entre las dos tablas anteriores.

Columnas modelizadas como prismas circunscritos				Columnas modelizadas como prismas inscritos			
	X	Y	Δg		X	Y	Δg
Pilar	(m)	(m)	μGal	Pilar	(m)	(m)	μGal
1	-2	-2.973	0.671	1	-2	-2.973	0.335
2	-2	-0.973	0.789	2	-2	-0.973	0.394
3	-2	1.214	0.871	3	-2	1.214	0.435
4	2	3.027	0.336	4	2	3.027	0.168
5	2	1.214	0.159	5	2	1.214	0.08
6	2	-0.973	0.15	6	2	-0.973	0.075
7	0	-2.973	0.135	7	0	-2.973	0.067
(a)				(b)			
Diferencia entre los valores de las tablas a y b							
0.336				μGal			
0.395				μGal			
0.436				μGal			
0.168				μGal			
0.079				μGal			
0.075				μGal			
0.068				μGal			
(c)							

$$\pi \times r^2 \times h = a^2 \times h$$

$$a = r \times \sqrt{\pi}$$

$$a = \sqrt{\pi \times r^2}$$

$$a = 0.15 \times 1.77a = 0.15 \times 1.77$$

$$a = 0.2658 \text{ m} = 26.58 \text{ cm} \quad (4.12)$$

Siendo r el radio y h la altura de los pilares que se están modelizando del pasillo intermedio y a el lado del prisma regular por el que se modelizan los pilares.

Considerando la magnitud para el lado a obtenido según la expresión 4.12 se realiza un cálculo para conocer su influencia sobre los pilares de medida (tabla 4.3).

Tabla 4.3. Valores de atracción que generan las diez columnas modelizadas como prismas con el mismo volumen que el de las columnas cilíndricas (originales).

Pilar	X (m)	Y (m)	Δg (μGal)
PG3	-2	1,214	-0,418
PG2	-2	-0,973	-0,402
PG1	-2	-2,973	-0,396
PG5	2	1,214	-0,418
PG6	2	-0,973	-0,402
PG7	2	-2,973	-0,396
PG4	0	3,027	-0,271

Los siguientes elementos influyentes de la estructura son las vigas sobre las que se asienta el techo de la sala exterior. Dichas vigas tienen forma aproximada de H. Como longitud (largo) para las vigas se ha considerado desde el centro de uno de los pilares cilíndricos del pasillo exterior hasta el centro de su opuesto al otro lado de la sala (figura 4.22).

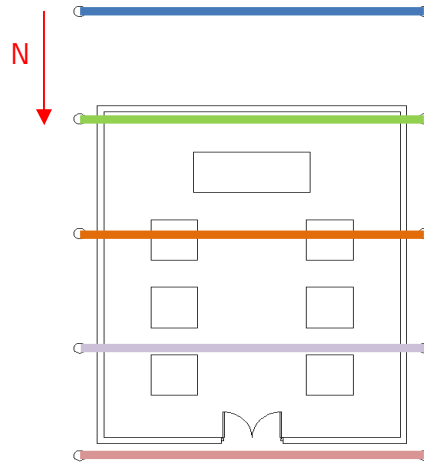


Figura 4.22. Gráfico dónde se muestran las cinco vigas sobre las que se asienta el techo de la sala interior. Como se puede observar las vigas quedan posadas sobre las columnas.

Las vigas son de acero, pero al igual que ocurría con el techo de la sala interior, se trata de una estructura cuya modelización no es sencilla. Por lo que de nuevo, se calcula una aproximación a un prisma, considerando una figura de volumen aproximado a dicha viga (figura 4.23).

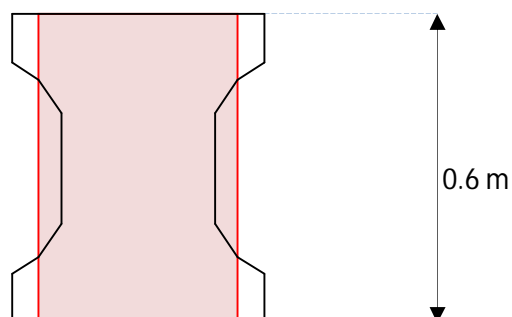


Figura 4.23 Prisma rectangular que se emplea para aproximar la modelización de las vigas en forma de H.

Modelado de la estructura externa del edificio

Partiendo de las dimensiones y geometrías facilitadas en los planos del edificio, se ha modelado la estructura externa de edificio, dividiéndose el trabajo en dos fases, por una parte el cálculo correspondiente a las paredes y por otra el correspondiente al techo. Para el cálculo correspondiente a las paredes se ha ideado el siguiente procedimiento:

1. Se divide esta estructura en secciones horizontales de 1 mm de espesor, teniendo un número finito de secciones horizontales hasta llegar a la altura del edificio, 4.3 m (figura 4.24, a).
2. Teniendo en cuenta el espesor de las paredes, para cada una de las secciones anteriores de espesor constante, se calcula la contribución de un prisma de lados iguales a la anchura y longitud del edificio, menos la contribución de otro prisma de lado igual a la (anchura-espesor pared) y (longitud-espesor pared) del edificio.
3. Empleando a su vez el hecho de conocer el ángulo que forman la vertical con las paredes del edificio (22°), se puede determinar en cada altura la variación del ancho y la longitud del edificio, por el efecto de la inclinación (figura 4.24, b).
4. Finalmente se obtiene el número de estructuras modeladas que vendrá determinado por:

$$n = \frac{h_{edificio} (mm)}{espesor\ elegido(1mm)}$$

Y también una contribución gravitatoria que vendrá dada por:

$$\Delta g = \sum_{i=0}^n (\Delta g_{ext}(i) - \Delta g_{int}(i))$$

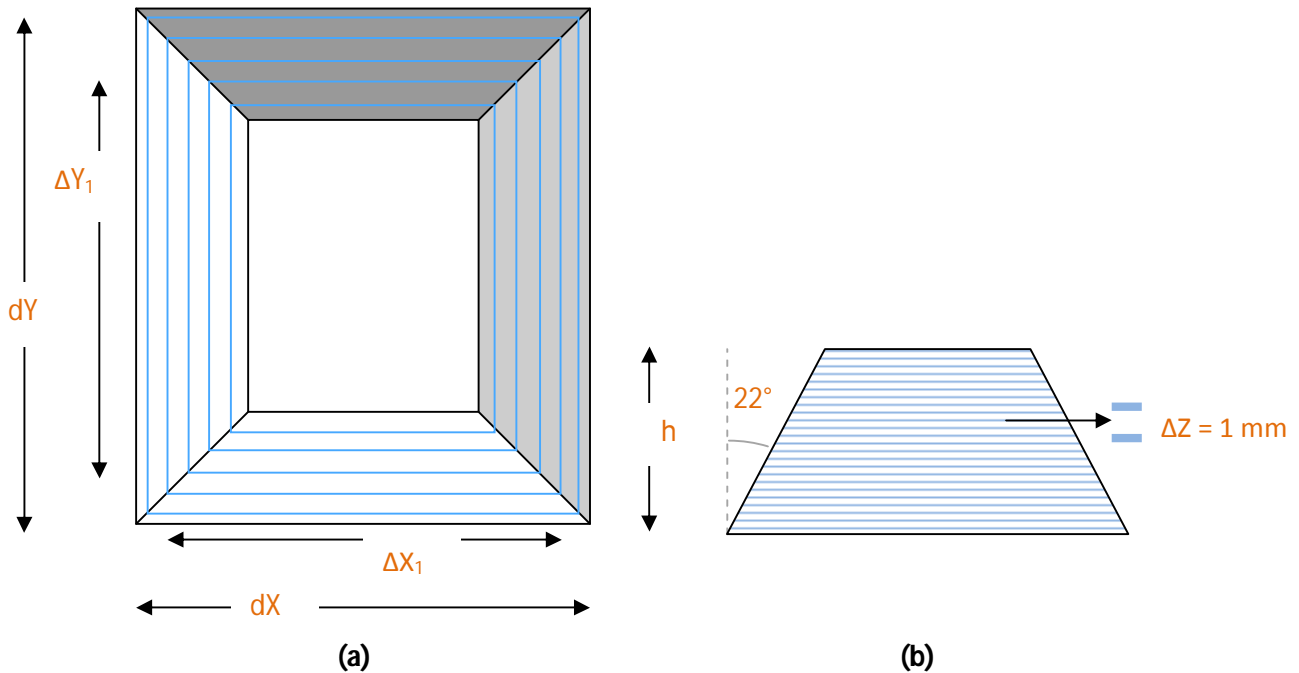


Figura 4.24. Vista en planta del edificio dónde se muestra el desarrollo del cálculo explicado gráficamente. La figura (a) se corresponde con la estructura en bloque de las paredes y la figura (b) con el suelo del edificio.

Finalmente se modela la parte superior del edificio, la cual se ha dividido a su vez en dos partes (figura 4.25).

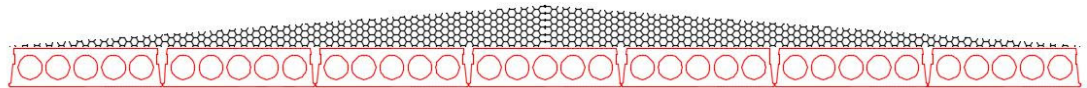


Figura 4.25. Imagen correspondiente al techo de la sala exterior dónde se pueden apreciar las dos partes que lo constituyen. En negro, la parte superior en forma triangular y en rojo, la parte inferior formada por una placa alveolar.

La parte inferior se modela como un prisma horizontal constituido por una placa alveolar de hormigón armado (2400 kg/m^3). Al igual que el techo de la sala interior, es necesario calcular las dimensiones del cilindro interior de la placa que está hueco. Se sigue el mismo procedimiento que para el caso del techo interior, considerando nuevamente un radio de 9 cm (figura 4.19, b).

En la parte superior del techo se localiza una estructura en forma triangular (figura 4.25). El material de construcción empleado en éste caso es hormigón ligero, con una densidad de 1800 kg/m³ (BOE, 2008). Al no ser una forma prismática se desarrolla un programa que calcula las dimensiones realizando cortes horizontales de 1 mm de espesor, tal y como se ha realizado en el apartado anterior para las paredes (figura 4.26). El cálculo se realiza sobre estructuras prismáticas pero en este caso sólo se varían la dimensión en la dirección X. Comenzando por el ancho y alto inicial (10.0031 m y 15.5611 m respectivamente) el valor en la dirección del eje X se disminuye hasta completar un prisma triangular de 0.312 m de altura. Según la función trigonométrica (expresión 4.13) que relaciona los tres valores del prisma con el ángulo del triángulo (3.5697°).

$$\Delta X = dX - 2 \times ((d\text{Espesor}Z) \times \tan 86.43035) \quad (4.13)$$

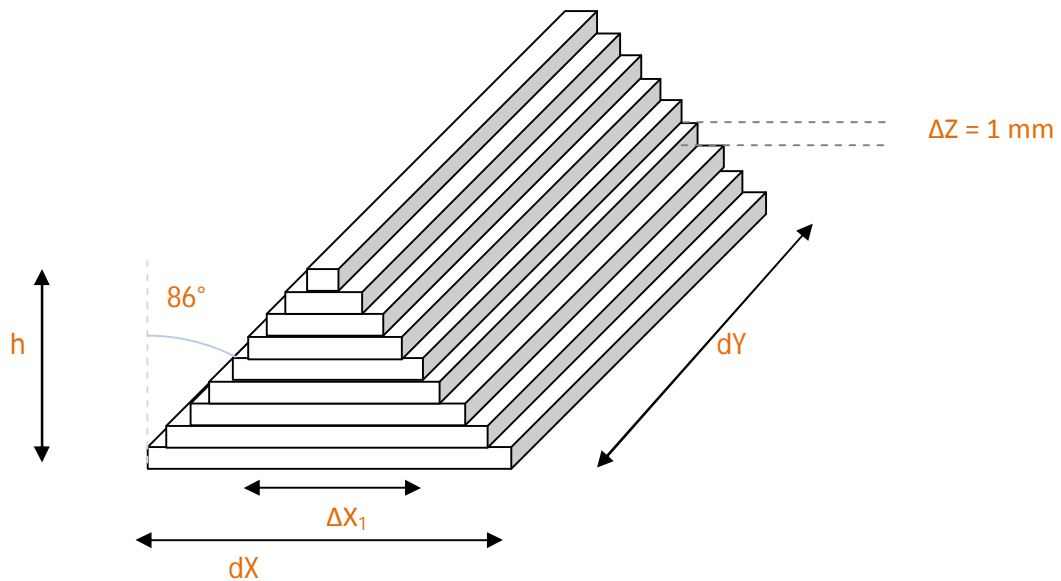


Figura 4.26. Vista en alzado de la parte superior del techo del edificio dónde se representan los valores incluidos en el cálculo de las subdivisiones y la variación de la altura en función de la inclinación, con ángulo conocido.

4.2.6. Influencia de la estructura del Pabellón sobre las medidas de gravedad

Para el cálculo de la influencia del edificio sobre las medidas de gravedad se consideran dos situaciones distintas. Inicialmente, se consideran únicamente las estructuras que modelan el edificio. Se genera una malla tridimensional de puntos de 1600 m^2 de área y 2.8 m de altura ($1 \text{ m} \times 1 \text{ m} \times 0.1 \text{ m}$), dónde el centro del Pabellón coincide con el centro de la malla. Tras el cálculo de la malla se obtiene un lista de 25215 puntos dotados de coordenadas tridimensionales en el sistema local (centro de la sala de medida como datum) y un valor de influencia relativo al pilar de referencia (nº7). Para obtener tanto la malla de puntos como el valor de influencia de cada uno de ellos se han creado unos programas de código en lenguaje Java. De este modo, se puede conocer la influencia de la estructura del edificio sobre cualquier punto del interior y el exterior de ella. Uno de los objetivos del proyecto es conocer y modelizar la influencia generada en el interior del laboratorio de gravimetría. Primero se representan todos los valores obtenidos para una altura cero, generando un mapa general (figura 4.27). Posteriormente, se generan tres perfiles manteniendo el valor de la coordenada X fija en -2 m, 0 m y 2 m (figuras 4.28, a, b, y c). Dichos valores se corresponden con la coordenada X de los centros de los pilares. Por último, se generan cinco perfiles manteniendo la Y fija (figura 4.29). Para los valores fijos de la coordenada Y se toman los centros de los pilares. Para todos los casos el valor de la anomalía está referido al pilar siete. Por eso, en la zona de mayor influencia (interior de la sala de medida) el valor es cero o próximo a él.

En el CD adjunto se incluyen las tablas con todos los puntos con los valores de anomalía tanto de la malla de 1600 m^2 como de los perfiles (longitudinales y transversales).

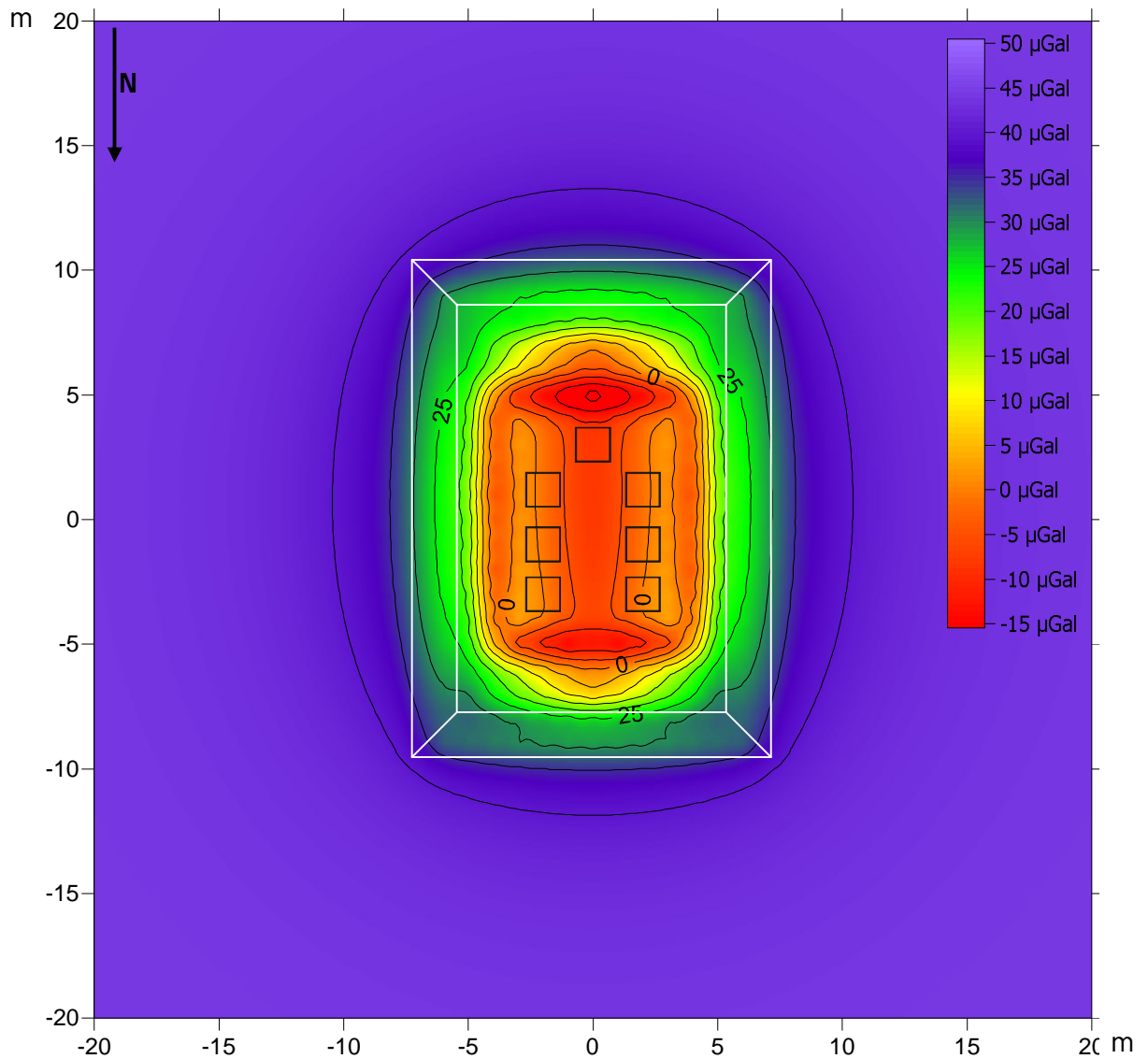


Figura 4.27. Mapa de la anomalía generada por la estructura del edificio. Se trata de una representación general de una malla de 1600 m^2 de área constituida por 25215 puntos. Cada punto tiene asociado un valor de anomalía referido al pilar siete.

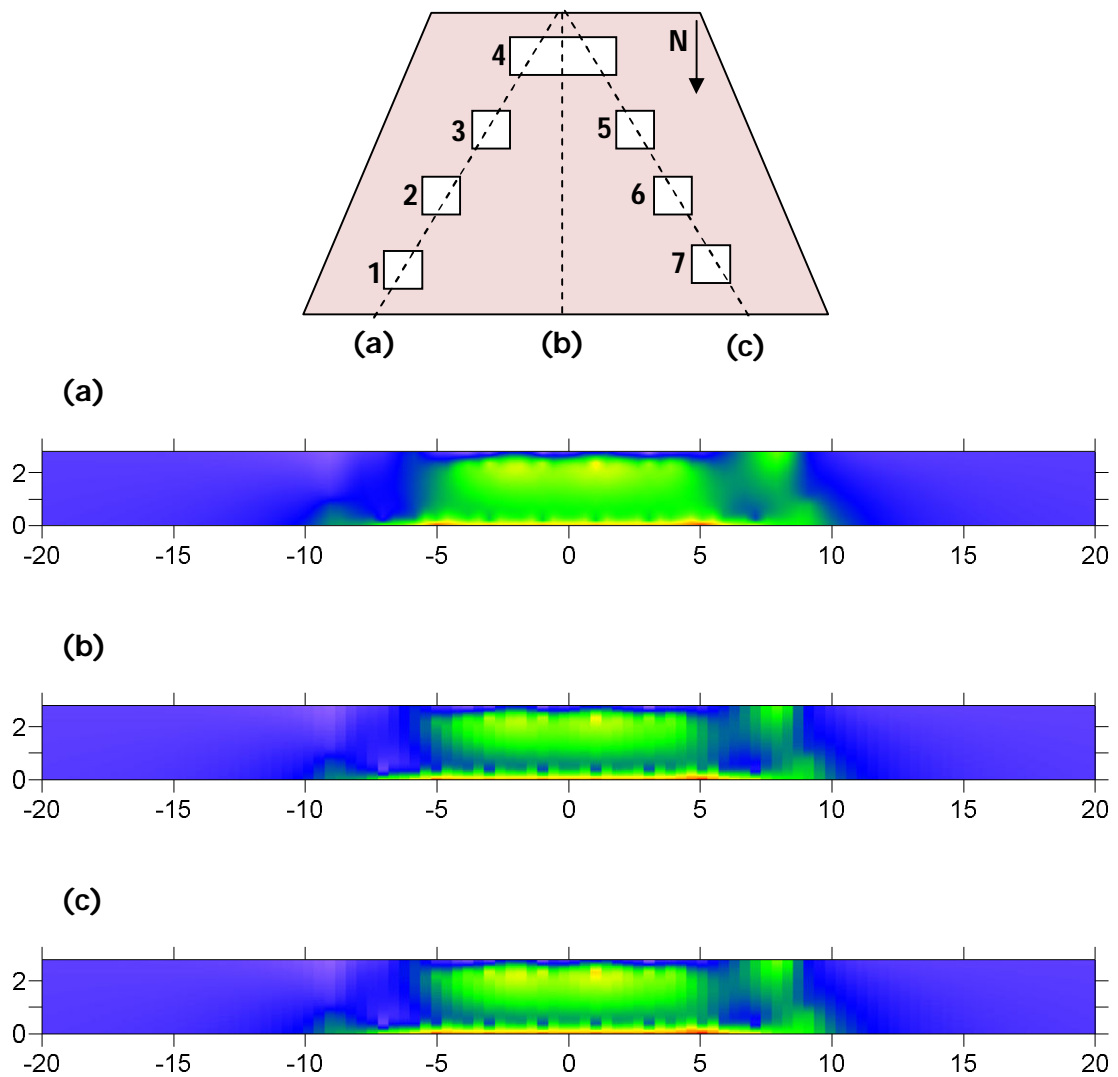


Figura 4.28. Arriba se muestra un esquema de la sala de medida con los perfiles que se han realizado. Abajo, tres perfiles longitudinales que representan la influencia en gravedad que genera la estructura del edificio sobre puntos con una X constante y con Y y Z variables. Como clasificación para los valores de influencia se ha empleado la misma que para la figura 4.27. Tanto el eje de abscisas como el de ordenadas representan distancias en metros. El perfil (a) tiene como coordenada $X = -2$ m, centro de los pilares de medida 1, 2 y 3. El perfil (b) tiene como coordenada $X = 0$ m, centro del pilar de medida 4. Por último, el perfil (c) tiene como coordenada $X = 2$ m, centro de los pilares 5, 6 y 7.

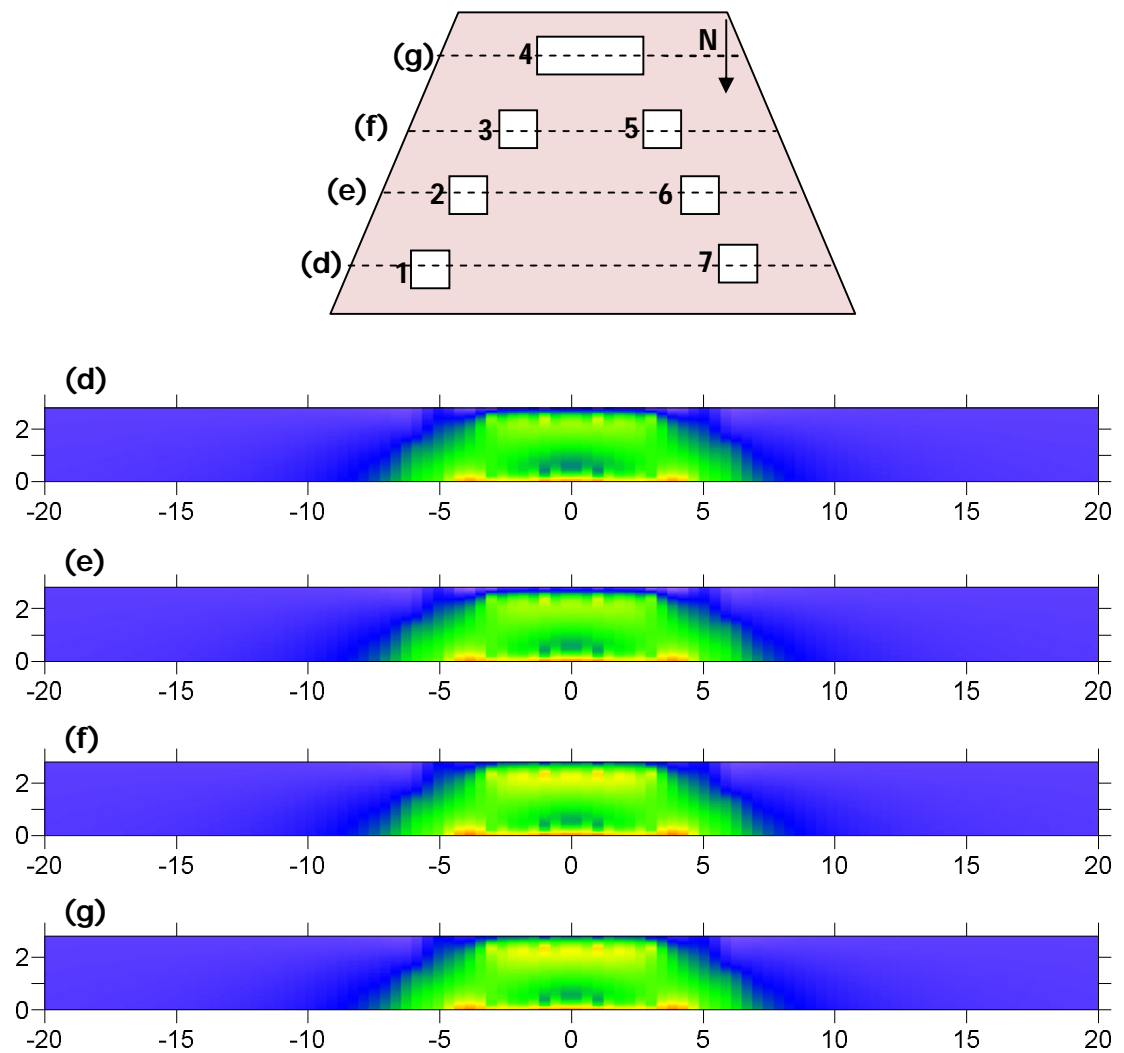
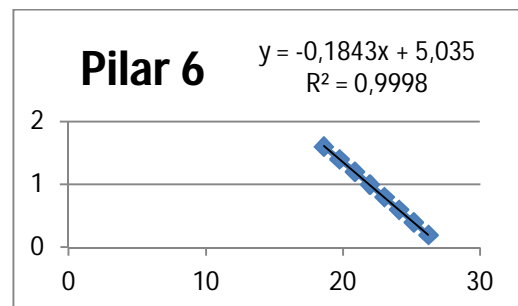
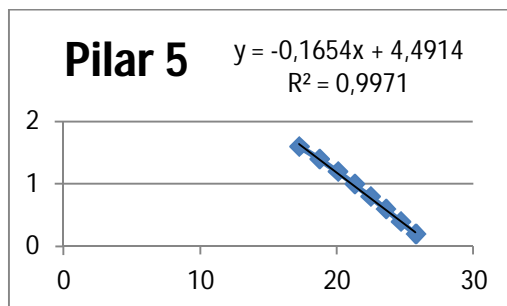
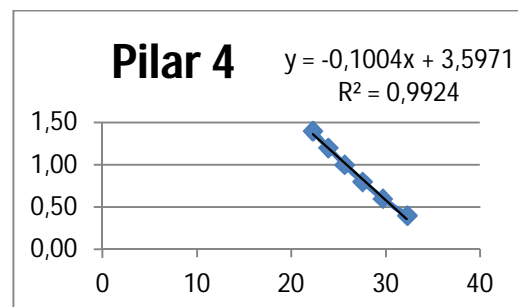
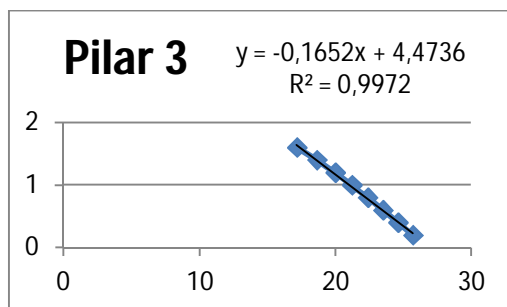
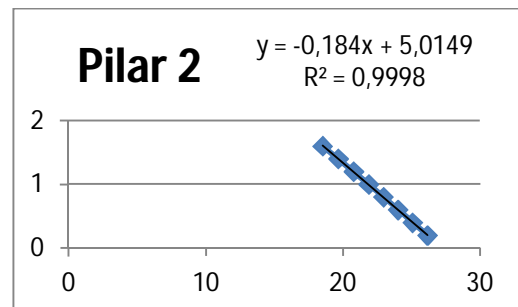
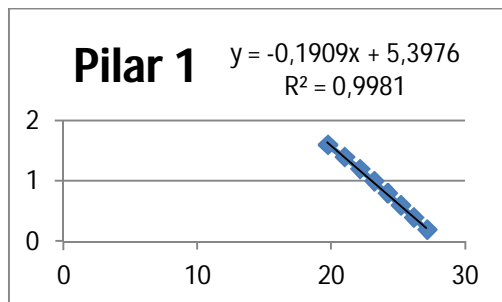


Figura 4.29. Arriba se muestra un esquema de la sala de medida con los perfiles que se han realizado. Abajo, cuatro perfiles transversales que representan la influencia que genera la estructura del edificio sobre puntos con una Y constante y con X y Z variables. Como clasificación para los valores de influencia se ha empleado la misma que para la figura 4.27. Tanto el eje de abscisas como el de ordenadas representan distancias en metros. El perfil (d) tiene como coordenada $Y = -2.9731$ m, centro de los pilares de medida 1 y 7. El perfil (e) tiene como coordenada $Y = -0.9731$ m, centro de los pilares de medida 2 y 6. El perfil (f) tiene como coordenada $Y = 1.2137$ m, centro de los pilares 3 y 5. Por último, el perfil (g) tiene como coordenada $Y = 3.0269$ m, centro del pilar 4.

Por otra parte se han calculado las perturbaciones que podría generar el edificio en el gradiente vertical de gravedad, tanto en los pilares interior como en el exterior del Pabellón, con el objetivo de determinar si las diferencias observadas experimentalmente pueden deberse a la estructura de dicho edificio. Para éstos puntos se mantiene tanto la X como la Y fija pero se considera variable la altura hasta los 2.8 metros (figura 4.30). Como se observa en las gráficas de la figura 4.30 no se muestra en ningún caso el valor para la altura de 2.8. Esto se debe a que se emplean únicamente los puntos que tienen una tendencia lineal para ajustar la recta.



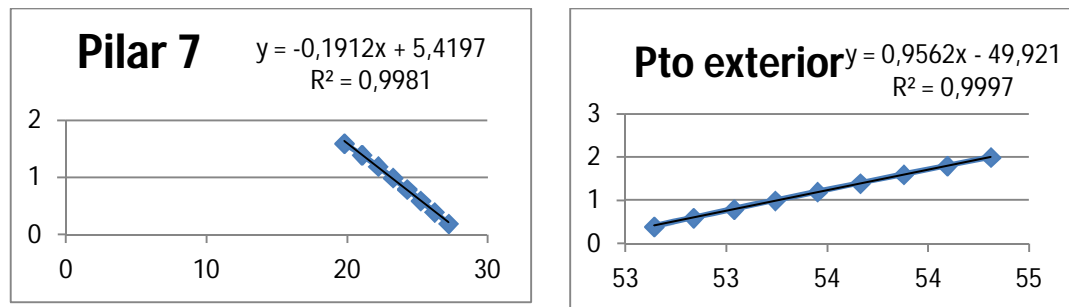


Figura 4.30. Representación de la influencia del edificio sobre puntos con coordenadas locales planimétricas (X , Y) constantes y la altimétrica (Z) variable. El eje de abscisas se corresponde con valores de anomalía (μGal) y el de ordenadas con la altura (m).

En el apartado de resultados obtenidos se muestran los valores de anomalía obtenidos para cada uno de éstos casos.

Para el segundo caso se consideran, además de las masas que componen la estructura del edificio, la tendencia "regional" (en realidad la tendencia local ya que se han utilizado valores cercanos al entorno del Pabellón), para ver la influencia de ésta en las observaciones experimentales realizadas en el interior del Pabellón. Existe una tendencia de menor a mayor anomalía de NE al SW. Puede deberse a que, a cierta profundidad, existe una capa de material con cierto buzamiento más levantada en la dirección SW, y más baja en la dirección NE (González, 2013). Se sigue el mismo procedimiento que en caso anterior para poder representar las anomalías. Se genera una malla tridimensional de puntos de 1600 m^2 de área y 2.8 m de altura, dónde el pabellón de medida se sitúa en el centro. Tras el cálculo de la malla se obtiene un lista de 25215 puntos dotados de coordenadas tridimensionales en el sistema local (centro de la sala de medida como datum) y un valor de influencia relativo al pilar siete (pilar escogido como referencia). Primero se representan todos los valores obtenidos para altura cero, generando un mapa general (figura 4.31). Posteriormente, se generan tres perfiles manteniendo el valor de la coordenada X fija en -2 m, 0 m y 2 m (figura 4.32, a, b, y c). Dichos valores se corresponden con la coordenada X de los centros de los pilares. Por último, se generan cinco perfiles manteniendo la Y fija (ver figura 4.33). Para los valores fijos de la coordenada Y se toman los centros de los pilares. Para todos los casos el valor de la anomalía está referido al pilar siete.

Por eso, en la zona de mayor influencia (interior de la sala de medida) el valor es cero o próximo a él.

En el CD adjunto se incluyen las tablas con todos los puntos con los valores de anomalía tanto de la malla de 1600 m² como de los perfiles (longitudinales y transversales).

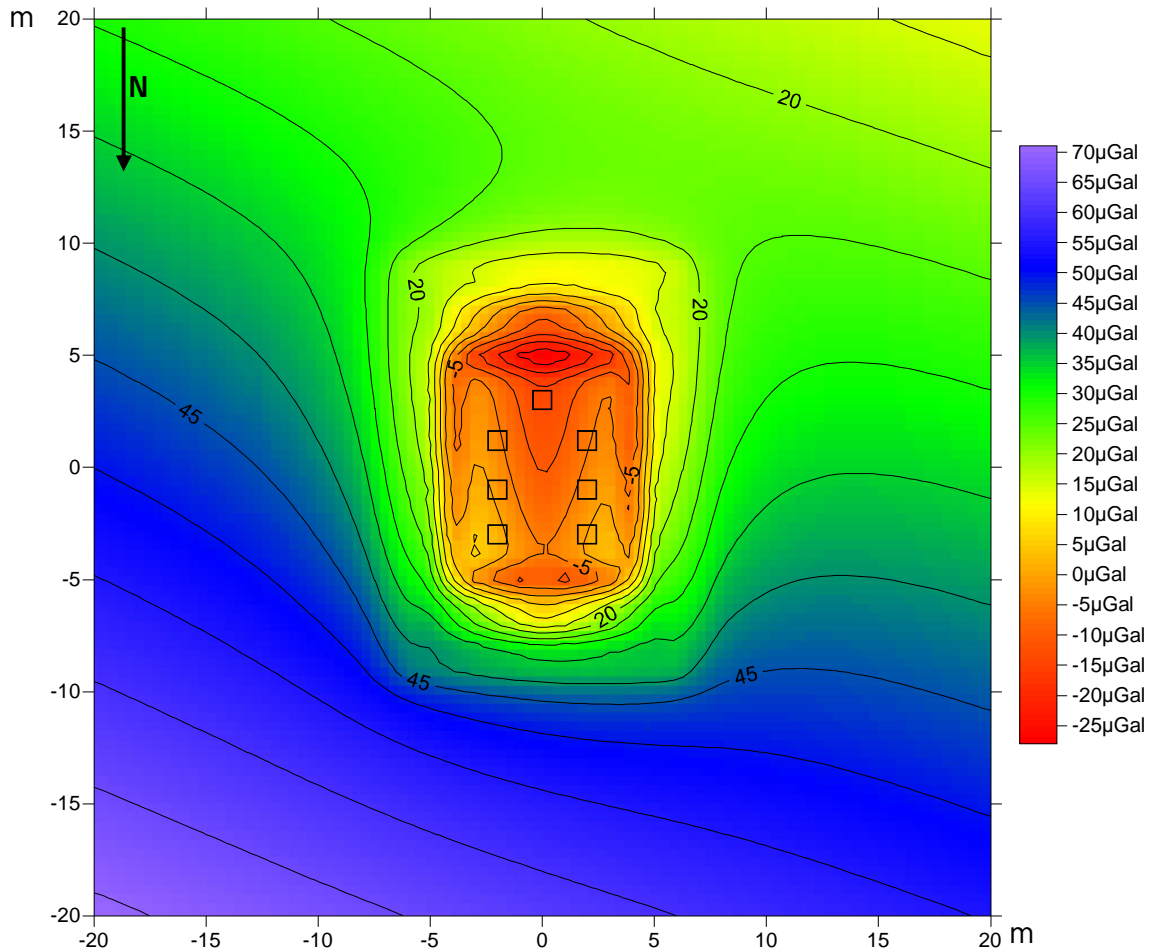


Figura 4.31. Mapa de la anomalía generada por la estructura del edificio y la tendencia regional del área de trabajo. Se trata de una representación general de una malla de 1600 m² de área constituida por 25215 puntos. Cada punto tiene asociado un valor de anomalía referido al pilar siete.

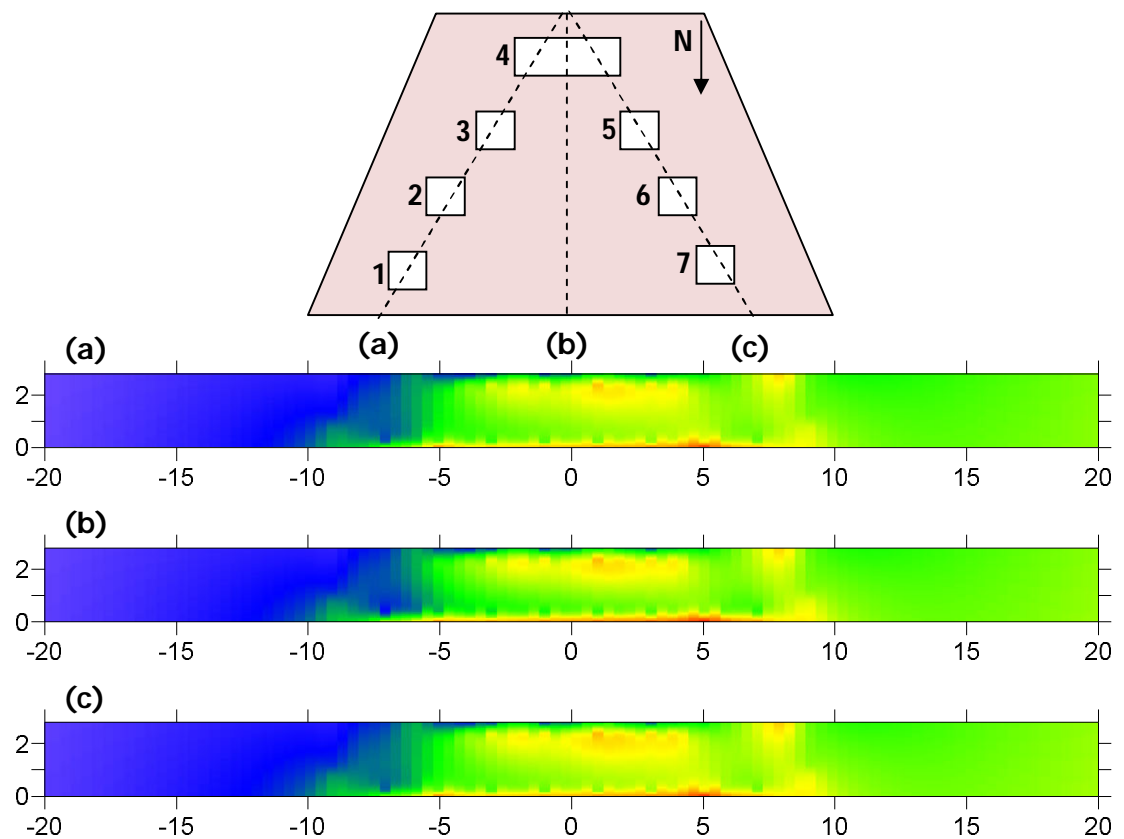


Figura 4.32. Arriba se muestra un esquema de la sala de medida con los perfiles que se han realizado. Abajo, tres perfiles longitudinales que representan la influencia que genera la estructura del edificio sobre puntos con una X constante y con Y y Z variables. Como clasificación para los valores de influencia se ha empleado la misma escala que para la figura 4.31. Tanto el eje de abscisas como el de ordenadas representan distancias en metros. El perfil (a) tiene como coordenada $X = -2$ m, centro de los pilares de medida 1, 2 y 3. El perfil (b) tiene como coordenada $X = 0$ m, centro del pilar de medida 4. Por último, el perfil (c) tiene como coordenada $X = 2$ m, centro de los pilares 5, 6 y 7.

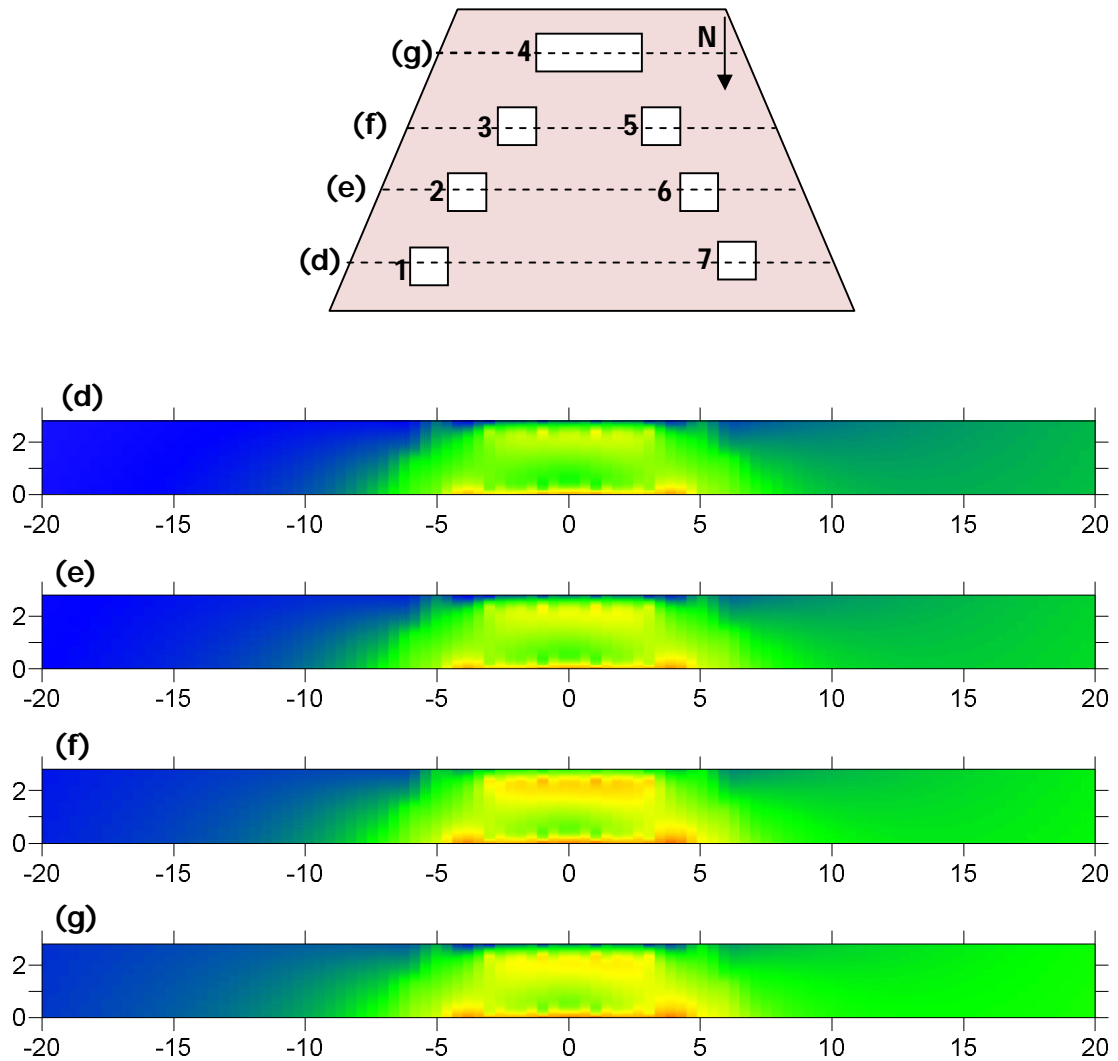
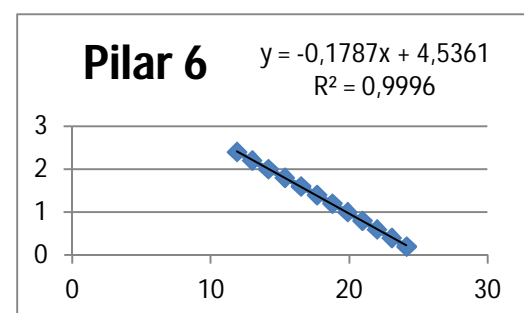
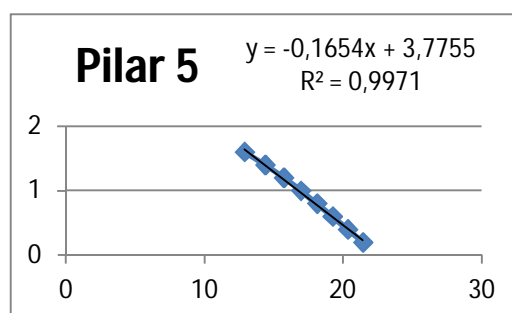
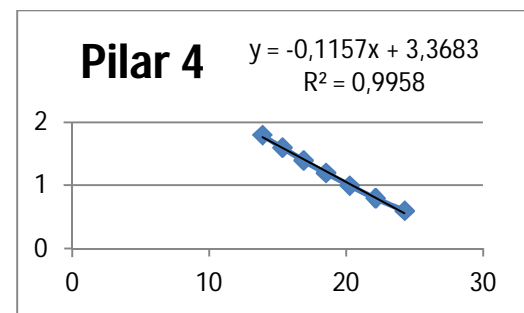
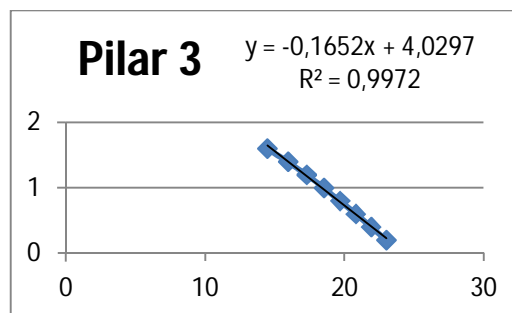
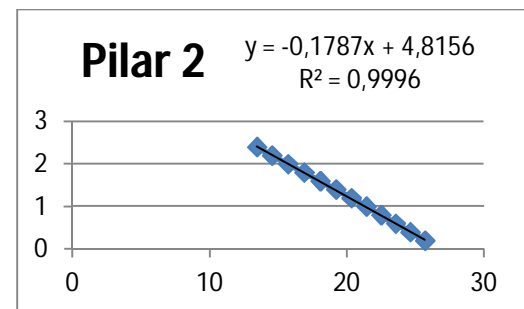
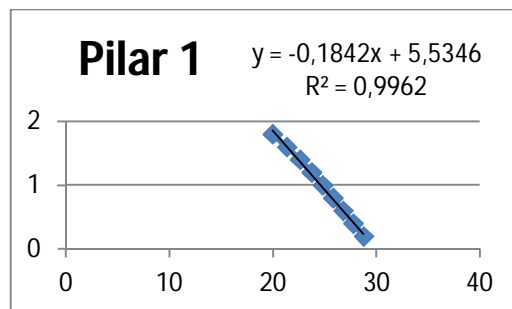


Figura 4.33. Arriba se muestra un esquema de la sala de medida con los perfiles que se han realizado. Abajo, cuatro perfiles transversales que representan la influencia que genera la estructura del edificio y la tendencia regional del área de trabajo sobre puntos con una Y constante y con X y Z variables. Como clasificación para los valores de influencia se ha empleado la misma que para la figura 4.31. Tanto el eje de abscisas como el de ordenadas representan distancias en metros. El perfil (d) tiene como coordenada $Y = -2.9731$ m, centro de los pilares de medida 1 y 7. El perfil (e) tiene como coordenada $Y = -0.9731$ m, centro de los pilares de medida 2 y 6. El perfil (f) tiene como coordenada $Y = 1.2137$ m, centro de los pilares 3 y 5. Por último, el perfil (g) tiene como coordenada $Y = 3.0269$ m, centro del pilar 4.

Para los centros de los pilares de medida y varios puntos del exterior también se obtienen la influencia que genera únicamente la estructura del edificio. Para éstos puntos se mantiene tanto la X como la Y fija pero se considera variable la altura hasta los 2.8 metros. En lugar de mapas de anomalías se obtienen graficas (figura 4.34). Como se observa en las gráficas de la figura 4.34 no se muestra en ningún caso el valor para la altura de 2.8. Esto se debe a que se emplean únicamente los puntos que tienen una tendencia lineal para ajustar la recta.



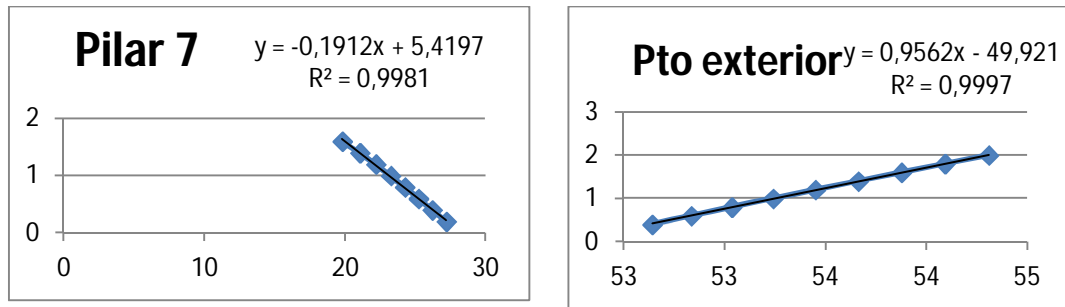


Figura 4.34. Representación de la influencia del edificio sobre puntos con coordenadas locales planimétricas (X , Y) constantes y la altimétrica (Z) variable. El eje de abscisas se corresponde con valores de anomalía (μGal) y el de ordenadas con la altura (m).

En el apartado de resultados obtenidos se muestran los valores de anomalía obtenidos para cada uno de éstos casos

5. RESULTADOS OBTENIDOS

Tras el cálculo de la Red GNSS se han obtenido unas coordenadas tridimensionales en el sistema ETRS89, tanto proyectadas (tabla 5.1) como geográficas (tabla 5.2) para todos los vértices que componen dicha red. Los valores de las coordenadas proyectadas (X, Y, H) están acompañados de su la desviación típica y también se obtiene el valor de la altura elipsoidal y de la ondulación del geoide. En el caso de las coordenadas geográficas se dispone de las coordenadas longitu, latitud y de la altura elipsoidal.

Tabla 5.1. *Coordenadas proyectadas (UTM-30N) de los vértices de la red GNSS.*

Id punto	X local σX	Y local σY	h^*	H^* σH	N^*
1000	492335.0434	4485922.0035	969.1011	917.1477	51.9534
	0.0035	0.0038		0.0104	
1001	492365.3864	4485940.7719	969.4703	917.5168	51.9535
	0.0016	0.0022		0.0045	
1002	492363.6851	4485919.5673	969.5834	917.6299	51.9534
	0.0022	0.0029		0.0057	
1003	492392.4800	4485910.1444	969.6049	917.6515	51.9534
	0.0016	0.0020		0.0043	
1004	492389.4684	4485884.3220	969.2829	917.3296	51.9533
	0.0018	0.0021		0.0051	
1005	492412.5847	4485890.9437	969.1602	917.2069	51.9534
	0.0015	0.0019		0.0041	
1006	492309.0299	4485909.8609	968.3568	916.4036	51.9533
	0.0018	0.0019		0.0049	
YEBE	492492.8859	4486022.1501	972.778	920.8234	51.9542
YEB1	492359.9197	4485897.9959	975.3671	923.4138	51.9533

**El valor de h se corresponde con la altura elipsoidal, H es la altura ortométrica y N la ondulación del geoide.*

Tabla 5.2 *Coordenadas de los vértices de la red GNSS, geográficas*

Id punto	Latitud N	Longitud W	h
1000	40°31'26.379"	3°05'25.769"	969.1011
1001	40°31'26.988	3°05'24.480	969.4703
1002	40°31'26.300	3°05'24.552	969.5834
1003	40°31'25.996	3°05'23.328	969.6049
1004	40°31'25.158	3°05'23.454	969.2829
1005	40°31'25.374	3°05'22.472	969.1602
1006	40°31'25.983	3°05'26.874	968.3568
YEBE	40°31'29.632	3°05'19.065	972.778
YEB1	40°31'25.600	3°05'24.711	975.3671

**h es la altura elipsoidal de los vértices.*

Previo a realizar el levantamiento del interior del Pabellón se estudia la transmisión de errores. El estudio se lleva a cabo tanto para las distancias que se van a medir con prisma (tabla 5.3) y sin él (tabla 5.4).

Tabla 5.3. *Transmisión de errores a priori para mediciones con prisma*

σ_D^*	10.6 mm
σ_{α}^*	410 " (centesimal)
EN (abs)*	24.7 mm
σ_H^*	20.1 mm
σ_c^*	12 " (centesimal)
TOLERANCIA VUELTA HZ	579 " (centesimal)
TOLERANCIA DISTANCIA	14 mm

** σ_D : error en la distancia. σ_{α} : error angular. EN (abs): precisión del levantamiento. σ_H : precisión del punto medido. σ_c : error total cenital.*

Tabla 5.4. Transmisión de errores a priori para mediciones sin prisma

σD^*	10.8	mm
$\sigma \alpha a^*$	204	" (centesimal)
EN (abs)*	24.7	mm
σH^*	20.2	mm
σc^*	12	" (centesimal)
TOLERANCIA VUELTA HZ	2896	" (centesimal)
TOLERANCIA DISTANCIA	15	mm

* σD : error en la distancia. $\sigma \alpha a$: error angular. EN (abs): precisión del levantamiento. σH : precisión del punto medido. σc : error total cenital.

tras el levantamiento se realiza nuevamente el estudio de transmisión de errores pero en este caso tanto para las medidas con prisma como para las medidas sin él se considera una distancia mínima (tablas 5.5 y 5.8), media (tablas 5.6 y 5.9) y máxima (tablas 5.7 y 5.10).

Tabla 5.5. Transmisión de errores a posteriori para una distancia mínima con medidas realizadas con prisma.

σD^*	10.6	" (centesimal)
$\sigma \alpha a^*$	517	" (centesimal)
EN (abs)*	24.7	mm
σH^*	20.1	mm
σc^*	12	" (centesimal)

* σD : error en la distancia. $\sigma \alpha a$: error angular. EN (abs): precisión del levantamiento. σH : precisión del punto medido. σc : error total cenital.

Tabla 5.6. Transmisión de errores a posteriori para una distancia media con medidas realizadas con prisma

σ_D^*	10.6	mm
$\sigma_{\alpha a}^*$	224	" (centesimal)
EN (abs)*	24.8	mm
σ_H^*	20.1	mm
σ_c^*	12	" (centesimal)

* σ_D : error en la distancia. $\sigma_{\alpha a}$: error angular. EN (abs): precisión del levantamiento. σ_H : precisión del punto medido. σ_c : error total cenital.

Tabla 5.7. Transmisión de errores a posteriori para una distancia máxima con medidas realizadas con prisma

σ_D^*	10.6	" (centesimal)
$\sigma_{\alpha a}^*$	116	" (centesimal)
EN (abs)*	24.8	mm
σ_H^*	20.2	mm
σ_c^*	12	" (centesimal)

* σ_D : error en la distancia. $\sigma_{\alpha a}$: error angular. EN (abs): precisión del levantamiento. σ_H : precisión del punto medido. σ_c : error total cenital.

Tabla 5.8. Transmisión de errores a posteriori para una distancia mínima con medidas realizadas sin prisma

σ_D^*	10.8	" (centesimal)
$\sigma_{\alpha a}^*$	518	" (centesimal)
EN (abs)*	24.7	mm
σ_H^*	20.2	mm
σ_c^*	12	" (centesimal)

* σ_D : error en la distancia. $\sigma_{\alpha a}$: error angular. EN (abs): precisión del levantamiento. σ_H : precisión del punto medido. σ_c : error total cenital.

Tabla 5.9. Transmisión de errores a posteriori para una distancia media con medidas realizadas sin prisma

σD^*	10.8	" (centesimal)
$\sigma \alpha^*$	1263	" (centesimal)
EN (abs)*	24.7	mm
σH^*	20.2	mm
σc^*	12	" (centesimal)

* σD : error en la distancia. $\sigma \alpha$: error angular. EN (abs): precisión del levantamiento. σH : precisión del punto medido. σc : error total cenital.

Tabla 5.10. Transmisión de errores a posteriori para una distancia máxima con medidas realizadas sin prisma

σD^*	10.8	" (centesimal)
$\sigma \alpha^*$	518	" (centesimal)
EN (abs)*	24.7	mm
σH^*	20.2	mm
σc^*	12	" (centesimal)

* σD : error en la distancia. $\sigma \alpha$: error angular. EN (abs): precisión del levantamiento. σH : precisión del punto medido. σc : error total cenital.

Una vez que se procesa la información obtenida en la fase de campo del levantamiento se obtienen unas coordenadas tridimensionales proyectadas de todos los puntos radiados (tabla 5.11). Posteriormente se transforman las coordenadas de los centros de los pilares a geográficas (tabla 5.12), pues son las que se requieren para las observaciones con gravímetros.

Tabla 5.11. *Coordenadas proyectadas (UTM-30N) de los puntos radiados.*

Id	N	E	H*
1	492366.145	4485908.906	917.619
2	492366.247	4485906.894	917.616
3	492366.279	4485904.898	917.617
4	492365.362	4485902.892	917.619
5	492362.268	4485904.789	917.619
6	492362.208	4485906.785	917.622
7	492362.161	4485908.790	917.617
2001	492367.864	4485910.878	917.535
2002	492368.179	4485901.009	917.539
2003	492360.597	4485900.804	917.537
2004	492360.306	4485910.659	917.539
2006	492367.869	4485910.868	917.534
2008	492368.021	4485906.013	917.534
2009	492360.610	4485900.810	917.535
2010	492360.459	4485905.794	917.535
2011	492360.325	4485910.648	917.536
2012	492363.030	4485910.714	917.535
2013	492363.020	4485910.742	917.536
2014	492365.155	4485910.804	917.536
2015	492365.148	4485910.778	917.535
3000	492364.670	4485902.968	917.536
3001	492364.472	4485903.168	917.538
3002	492364.161	4485903.159	917.536
3003	492363.942	4485895.190	917.538

* H: altura ortométrica.

Tabla 5.12. *Coordenadas geográficas de los centros de los pilares de medida.*

Pilar	Longitud	Latitud
1	-3° 5' 24.45"	40° 31' 25.96"
2	-3° 5' 24.44"	40° 31' 25.89"
3	-3° 5' 24.44"	40° 31' 25.83"
4	-3° 5' 24.48"	40° 31' 25.76"
5	-3° 5' 24.61"	40° 31' 25.82"
6	-3° 5' 24.61"	40° 31' 25.89"
7	-3° 5' 24.61"	40° 31' 25.95"

Se realiza el cálculo de la desorientación que sufren los pilares y se obtienen unos valores angulares para los pilares dos y tres, sobre los que se realizaron las observaciones (tabla 5.13).

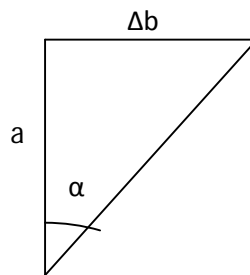
Tabla 5.12. Valor angular de la desorientación del pilar dos.

a^*	3	cm
Δb^*	115.8	cm
α^*	0.0259	radianes
α^*	1.4840	sexagesimal
	1°29'2.45"	

Tabla 5.13. Valor angular de la desorientación del pilar tres.

a^*	4.8	cm
Δb^*	115.8	cm
α^*	0.0414	radianes
α^*	2.3735	sexagesimal
	2°22'24.94"	

*Los valores a , b y α se muestran en la figura siguiente:



En el apartado cinco de la fase de trabajos de campo se han asignado dimensiones y localización a las distintas masas que componen la estructura del Pabellón. A continuación se muestra una relación de tablas de las distintas modelizaciones que se han realizado.

Tabla 5.15. Valores correspondientes a los prismas modelados para las paredes y puerta de la sala interior del pabellón.

	Coordenadas centro (m)			Magnitudes lados (m)		
	X	Y	Z	$\Delta x=a$	$\Delta y=b$	$\Delta z=c$
A	0	4.91	1.38	7.62	0.18	2.76
B	3.9	0	1.38	0.18	10	2.76
C	-3.9	0	1.38	0.18	10	2.76
D	-2.30	-4.91	1.38	3.01	0.18	2.76
E	2.30	-4.91	1.38	3.01	0.18	2.76
O	0	-4.91	1.13	1.59	0.18	2.26
P	0	-4.91	2.51	1.59	0.18	0.5

Tabla 5.16. Valores correspondientes al prisma modelado para el techo de la sala interior del pabellón.

	TECHO SALA INTERIOR					
	Coordenadas centro (m)			Magnitudes lados (m)		
	X	Y	Z	$\Delta x=a$	$\Delta y=b$	$\Delta z=c$
F	0	0	2.62	7.6	9.64	0.30

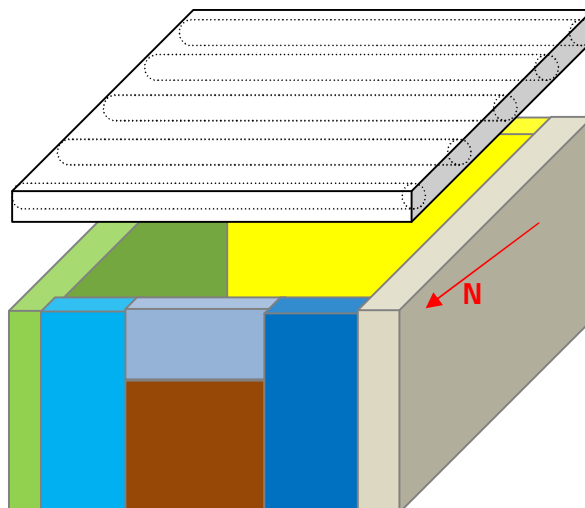


Tabla 5.17. Valores correspondientes a los prismas modelados para las los pilares del pasillo de la sala exterior. En lugar de pilares se denominan columnas para no confundirlos con los pilares de medida.

	Coordenadas centro (m)			Magnitudes lados (m)		
	X	Y	Z	$\Delta x=a$	$\Delta y=b$	$\Delta z=c$
p1	-4.44	7.79	1.72	0.25	0.25	3.44
p2	-4.44	4.61	1.72	0.25	0.25	3.44
p3	-4.44	1.21	1.72	0.25	0.25	3.44
p4	-4.44	-2.18	1.72	0.25	0.25	3.44
p5	-4.44	-5.36	1.72	0.25	0.25	3.44
p6	4.44	7.79	1.72	0.25	0.25	3.44
p7	4.44	4.61	1.72	0.25	0.25	3.44
p8	4.44	1.21	1.72	0.25	0.25	3.44
p9	4.44	-2.18	1.72	0.25	0.25	3.44
p10	4.44	-5.36	1.72	0.25	0.25	3.44

Tabla 5.18. Valores correspondientes a los prismas modelados para las las vigas sobre las que se asienta el techo de la sala exterior del Pabellón.

	Coordenadas centro (m)			Magnitudes lados (m)		
	X	Y	Z	$\Delta x=a$	$\Delta y=b$	$\Delta z=c$
G	-0.06	7.79	3.74	9.58	0.31	0.6
H	-0.06	4.61	3.74	9.58	0.31	0.6
I	-0.06	1.21	3.74	9.58	0.31	0.6
J	-0.06	-2.18	3.74	9.58	0.31	0.6
K	-0.06	-5.36	3.74	9.58	0.31	0.6

Tabla 5.19. Valores correspondientes al prisma que modela la parte inferior del techo de la sala exterior.

L	Coordenadas centro (m)			Magnitudes lados (m)		
	X	Y	Z	$\Delta x=a$	$\Delta y=b$	$\Delta z=c$
	0	1.27	4.12	10	15.56	0.30

Tras completar los programas de cálculo de la influencia que genera la estructura del edificio sobre los pilares de medida se obtienen unos resultados para diferentes alturas (tabla 5.20). Posteriormente, se realiza el mismo cálculo pero, añadiendo a la influencia que generan las masas del edificio, la tendencia "regional" que se localiza en el entorno del Pabellón (tabla 5.21).

Tabla 5.20. Tablas que muestran los valores obtenidos para la influencia generada por la estructura del edificio sobre los pilares de medida a diferentes alturas.

Pilar 1				Pilar 2			
X (m)	Y (m)	Z (m)	Δg (μGal)	X (m)	Y (m)	Z (m)	Δg (μGal)
-2	-2.97	0	-0.1	-2.97	-2.97	0	-1.0
-2	-2.97	0.2	27.1	-2.97	-2.97	0.2	26.1
-2	-2.97	0.4	26.1	-2.97	-2.97	0.4	25.1
-2	-2.97	0.6	25.1	-2.97	-2.97	0.6	24.0
-2	-2.97	0.8	24.2	-2.97	-2.97	0.8	22.9
-2	-2.97	1	23.2	-2.97	-2.97	1	21.9
-2	-2.97	1.2	22.1	-2.97	-2.97	1.2	20.8
-2	-2.97	1.4	21.0	-2.97	-2.97	1.4	19.6
-2	-2.97	1.6	19.7	-2.97	-2.97	1.6	18.5
-2	-2.97	1.8	18.3	-2.97	-2.97	1.8	17.3
-2	-2.97	2	16.8	-2.97	-2.97	2	16.1
-2	-2.97	2.2	15.1	-2.97	-2.97	2.2	15.0
-2	-2.97	2.4	13.3	-2.97	-2.97	2.4	13.9
-2	-2.97	2.6	28.2	-2.97	-2.97	2.6	29.7
-2	-2.97	2.8	47.0	-2.97	-2.97	2.8	49.5

Pilar 3				Pilar 4			
X (m)	Y (m)	Z (m)	Δg (μGal)	X (m)	Y (m)	Z (m)	Δg (μGal)
-2	1.21	0	-1.4	0	3.03	0	-8.6
-2	1.21	0.2	25.7	0	3.03	0.2	18.9
-2	1.21	0.4	24.6	0	3.03	0.4	32.3
-2	1.21	0.6	23.5	0	3.03	0.6	29.7
-2	1.21	0.8	22.4	0	3.03	0.8	27.5
-2	1.21	1	21.2	0	3.03	1	25.6
-2	1.21	1.2	20.0	0	3.03	1.2	23.9
-2	1.21	1.4	18.6	0	3.03	1.4	22.3
-2	1.21	1.6	17.1	0	3.03	1.6	20.7
-2	1.21	1.8	15.5	0	3.03	1.8	19.2
-2	1.21	2	13.5	0	3.03	2	17.9
-2	1.21	2.2	11.2	0	3.03	2.2	16.6
-2	1.21	2.4	8.4	0	3.03	2.4	15.5
-2	1.21	2.6	21.6	0	3.03	2.6	31.4
-2	1.21	2.8	37.3	0	3.03	2.8	51.3

Pilar 5				Pilar 6			
X (m)	Y (m)	Z (m)	Δg (μGal)	X (m)	Y (m)	Z (m)	Δg (μGal)
2	1.21	0	-1.4	2	-0.97	0	-0.9
2	1.21	0.2	25.8	2	-0.97	0.2	26.2
2	1.21	0.4	24.7	2	-0.97	0.4	25.1
2	1.21	0.6	23.6	2	-0.97	0.6	24.1
2	1.21	0.8	22.4	2	-0.97	0.8	23.0
2	1.21	1	21.3	2	-0.97	1	21.9
2	1.21	1.2	20.0	2	-0.97	1.2	20.8
2	1.21	1.4	18.7	2	-0.97	1.4	19.7
2	1.21	1.6	17.2	2	-0.97	1.6	18.6
2	1.21	1.8	15.5	2	-0.97	1.8	17.4
2	1.21	2	13.6	2	-0.97	2	16.2
2	1.21	2.2	11.3	2	-0.97	2.2	15.0
2	1.21	2.4	8.5	2	-0.97	2.4	13.9
2	1.21	2.6	21.7	2	-0.97	2.6	29.8
2	1.21	2.8	37.3	2	-0.97	2.8	49.6

Pilar 7				Pto exterior			
X (m)	Y (m)	Z (m)	Δg (μGal)	X (m)	Y (m)	Z (m)	Δg (μGal)
2	-2.97	0	0.0	-4.46	-13.60	0	42.3
2	-2.97	0.2	27.2	-4.46	-13.60	0.2	42.5
2	-2.97	0.4	26.2	-4.46	-13.60	0.4	42.7
2	-2.97	0.6	25.2	-4.46	-13.60	0.6	42.9
2	-2.97	0.8	24.2	-4.46	-13.60	0.8	43.1
2	-2.97	1	23.2	-4.46	-13.60	1	43.3
2	-2.97	1.2	22.2	-4.46	-13.60	1.2	43.5
2	-2.97	1.4	21.0	-4.46	-13.60	1.4	43.7
2	-2.97	1.6	19.8	-4.46	-13.60	1.6	43.9
2	-2.97	1.8	18.4	-4.46	-13.60	1.8	44.1
2	-2.97	2	16.9	-4.46	-13.60	2	44.3
2	-2.97	2.2	15.2	-4.46	-13.60	2.2	44.5
2	-2.97	2.4	13.4	-4.46	-13.60	2.4	44.8
2	-2.97	2.6	28.3	-4.46	-13.60	2.6	45.0
2	-2.97	2.8	47.0	-4.46	-13.60	2.8	45.2

Tabla 5.21. Tablas que muestran los valores obtenidos para la influencia generada por la estructura del edificio sobre los pilares de medida a diferentes alturas y la tendencia "regional" localizada en el entorno del Pabellón.

Pilar 1				Pilar 2			
X (m)	Y (m)	Z (m)	Δg (μGal)	X (m)	Y (m)	Z (m)	Δg (μGal)
-2	-2.97	0	-1.6	-2	-0.97	0	-1.4
-2	-2.97	0.2	28.8	-2	-0.97	0.2	25.7
-2	-2.97	0.4	27.8	-2	-0.97	0.4	24.6
-2	-2.97	0.6	26.8	-2	-0.97	0.6	23.6
-2	-2.97	0.8	25.8	-2	-0.97	0.8	22.5
-2	-2.97	1	24.8	-2	-0.97	1	21.4
-2	-2.97	1.2	23.7	-2	-0.97	1.2	20.3
-2	-2.97	1.4	22.6	-2	-0.97	1.4	19.2
-2	-2.97	1.6	21.3	-2	-0.97	1.6	18.1
-2	-2.97	1.8	20.0	-2	-0.97	1.8	16.9
-2	-2.97	2	18.4	-2	-0.97	2	15.7
-2	-2.97	2.2	16.7	-2	-0.97	2.2	14.5
-2	-2.97	2.4	14.9	-2	-0.97	2.4	13.4
-2	-2.97	2.6	29.9	-2	-0.97	2.6	29.3
-2	-2.97	2.8	48.6	-2	-0.97	2.8	49.1

Pilar 3				Pilar 4			
X (m)	Y (m)	Z (m)	Δg (μGal)	X (m)	Y (m)	Z (m)	Δg (μGal)
-2	1.21	0	-4.1	0	3.03	0	-14.0
-2	-0.97	0.2	23.0	0	3.03	0.2	13.5
-2	-0.97	0.4	21.9	0	3.03	0.4	26.9
-2	-0.97	0.6	20.8	0	3.03	0.6	24.3
-2	-0.97	0.8	19.7	0	3.03	0.8	22.1
-2	-0.97	1	18.5	0	3.03	1	20.2
-2	-0.97	1.2	17.3	0	3.03	1.2	18.5
-2	-0.97	1.4	15.9	0	3.03	1.4	16.9
-2	-0.97	1.6	14.5	0	3.03	1.6	15.3
-2	-0.97	1.8	12.8	0	3.03	1.8	13.9
-2	-0.97	2	10.8	0	3.03	2	12.5
-2	-0.97	2.2	8.5	0	3.03	2.2	11.2
-2	-0.97	2.4	5.7	0	3.03	2.4	10.1
-2	-0.97	2.6	18.9	0	3.03	2.6	26.0
-2	-0.97	2.8	34.6	0	3.03	2.8	45.9

Pilar 5				Pilar 6			
X (m)	Y (m)	Z (m)	Δg (μGal)	X (m)	Y (m)	Z (m)	Δg (μGal)
2	1.21	0	-5.7	2	-0.97	0	-3.0
2	1.21	0.2	21.4	2	-0.97	0.2	24.1
2	1.21	0.4	20.3	2	-0.97	0.4	23.1
2	1.21	0.6	19.2	2	-0.97	0.6	22.0
2	1.21	0.8	18.1	2	-0.97	0.8	20.9
2	1.21	1	17.0	2	-0.97	1	19.9
2	1.21	1.2	15.7	2	-0.97	1.2	18.8
2	1.21	1.4	14.4	2	-0.97	1.4	17.7
2	1.21	1.6	12.9	2	-0.97	1.6	16.5
2	1.21	1.8	11.2	2	-0.97	1.8	15.3
2	1.21	2	9.3	2	-0.97	2	14.1
2	1.21	2.2	7.0	2	-0.97	2.2	13.0
2	1.21	2.4	4.1	2	-0.97	2.4	11.9
2	1.21	2.6	17.3	2	-0.97	2.6	27.7
2	1.21	2.8	33.0	2	-0.97	2.8	47.5

Pilar 7				Pto exterior			
X (m)	Y (m)	Z (m)	Δg (μGal)	X (m)	Y (m)	Z (m)	Δg (μGal)
2	-2.97	0	0.0	4.461	-13.60	0	52.3
2	-2.97	0.2	27.2	4.461	-13.60	0.2	52.5
2	-2.97	0.4	26.2	4.461	-13.60	0.4	52.6
2	-2.97	0.6	25.2	4.461	-13.60	0.6	52.8
2	-2.97	0.8	24.2	4.461	-13.60	0.8	53.0
2	-2.97	1	23.2	4.461	-13.60	1	53.2
2	-2.97	1.2	22.2	4.461	-13.60	1.2	53.5
2	-2.97	1.4	21.0	4.461	-13.60	1.4	53.7
2	-2.97	1.6	19.8	4.461	-13.60	1.6	53.9
2	-2.97	1.8	18.4	4.461	-13.60	1.8	54.1
2	-2.97	2	16.9	4.461	-13.60	2	54.3
2	-2.97	2.2	15.2	4.461	-13.60	2.2	54.5
2	-2.97	2.4	13.4	4.461	-13.60	2.4	54.7
2	-2.97	2.6	28.3	4.461	-13.60	2.6	55.0
2	-2.97	2.8	47.0	4.461	-13.60	2.8	55.2

6. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Red por técnicas GNSS

Es importante mencionar que la geometría de la red (ejes pequeños) genera problemas de precisión en el cálculo.

Se analizan cada uno de los informes obtenidos tras los ajustes llevados a cabo. Y se observa que el ajuste mínimo cuadrático se ha procesado con suficientes grados de libertad (27, 21, 57 y 66). Se determinan los parámetros del ajuste en función de los grados de libertad.

Por otro lado se observa la desviación estándar obtenida para cada uno de los vértices. En ninguno de los casos supera los 2 cm que se han definido como tolerancia. Al observar los valores de excentricidad de las elipses de error se localizan siempre magnitudes próximas a la unidad, considerado como el valor ideal pues en este caso el error en ambos sentidos es de igual magnitud.

Tras el cálculo de cada uno de los ajustes es importante evaluar las posibles correcciones por desplazamiento de las posiciones iniciales de los vértices que componen la red. Éstas no deben superar los 2 cm para las coordenadas planimétricas y los 50 para la altimetría. Tras observar los resultados obtenidos se llega a la conclusión de que se puede proceder al cálculo del ajuste constreñido. Pues en ningún caso se observan resultados erróneos y siempre se cumplen las condiciones impuestas inicialmente.

Seguidamente se estudian los informes correspondientes a los ajustes constreñidos atendiendo a las mismas restricciones consideradas en el análisis de los ajustes mínimamente constreñidos. Se realizan siete ajustes. Como se ha mencionado anteriormente, se asigna prioridad al hecho de obtener unas desviaciones típicas siempre inferiores a los dos centímetros para las coordenadas planimétricas. Desde el primer ajuste se cumple ésta condición para cada uno de los vértices que componen la red.

Ahora sí, se considera mejorar la geometría de la red pues ya disponemos de unas coordenadas previas aproximadas. Por ello se realizan ajustes consecutivos en los cuales se van eliminando observaciones entre vértices que se consideren con peor precisión. Para ello se analizan los valores obtenidos en los parámetros de los test estadísticos (Warda y Student). Se decide finalizar el proceso de ajuste una vez se observa que las mejoras en la precisión de los puntos no es considerable. Se observa que los desplazamientos que se han producido sobre las coordenadas de los vértices tras el último ajuste no superan el centímetro y en muchos casos es nulo.

Por todas las consideraciones mencionadas anteriormente se concluye estableciendo como coordenadas válidas de los vértices las obtenidas tras el último ajuste constreñido. Dichas coordenadas se muestran en el apartado de resultados obtenidos.

Levantamiento topográfico

Debido a la geometría que ofrece el levantamiento (puntos radiados únicamente desde un vértice) no se puede plantear un ajuste paramétrico pues existen más incógnitas que ecuaciones. Por ello se deben analizar los resultados obtenidos para el estudio de la transmisión de errores para poder determinar la validez de las coordenadas de los puntos observados. Además, el levantamiento se lleva a cabo en una sala interior dónde las distancias a medir varían entre los dos y los quince metros. Se trata de una geometría complicada por ser observaciones de poca longitud. Dicha situación se subsana con la elección del instrumento que permite realizar medidas de corta distancia, como ya se ha mencionado anteriormente.

Para analizar los resultados se considera una distancia media, una máxima y una mínima (distancias procedentes de las observaciones de campo). De gran importancia son los resultados obtenidos para las coordenadas de los vértices de observación. Para ello es necesario analizar si todos los valores entran dentro de tolerancia en el cálculo a posteriori de las mediciones sin prisma.

En el apartado de resultados obtenidos se muestran las diferencias apreciables entre los resultados a priori y a posteriori (para las tres distancias) y que en todos los casos los valores obtenidos entran dentro de la tolerancia que se ha definido en el estudio a priori.

Como conclusión, se decide tomar los valores obtenidos como válidos.

Desorientación de los pilares de medida

Tras la visualización en AutoCAD de la sala con las coordenadas obtenidas en campo se observa una ligera desviación de los pilares del edificio respecto a la orientación de la sala en los planos de construcción.

Una vez se llevan a cabo las medidas pertinentes se concluye con que los pilares de medida tienen una desviación media de 1.5° (sexagesimales).

Influencia sobre las medidas de gravedad

Por un lado estudian los resultados obtenidos sobre la influencia que generan únicamente las masas que componen la estructura del edificio. Se dispone de valores experimentales de gravedad sobre los centros de los siete pilares del Pabellón (tabla 6.1), por ello se comparan éstos resultados con los calculados.

Tabla 6.1. Valores relativos de gravedad obtenidos de forma experimental.

PILAR	DIFERENCIA (mGal)	STD*
S1	0.004	0.001
S2	0.008	0.001
S3	0.016	0.002
S4	0.018	0.001
S5	0.013	0.001
S6	0.007	0.002
S7	0.000	0.001

* STD es la desviación típica de cada uno de los valores relativos de gravedad.

Se puede apreciar que el valor máximo de influencia se localiza sobre el pilar cuatro ($-8.6 \mu\text{Gal}$) y el valor mínimo, sin considerar como valor mínimo el de referencia pues sobre éste la influencia se muestra como nula, se localiza sobre el pilar uno ($-0.1 \mu\text{Gal}$) (tabla 6.2).

Tabla 6.2. Se muestran los valores de influencia obtenidos y los valores de gravedad experimentales. Se observa que en ambos casos el máximo se corresponde con el pilar 4 y el mínimo con el 1.

PILAR	Influencia masas (μGal)	Valores experimentales de gravedad (μGal)
1	0.1	4
2	1	8
3	1.4	16
4	8.6	18
5	1.4	13
6	0.9	7
7	0	0

Por otro lado, se observa siempre una correspondencia entre las magnitudes de anomalía obtenida sobre cada pilar y los valores experimentales de gravedad. Es decir, tanto para los valores experimentales de gravedad como para los calculados de influencia se cumple que el valor mínimo se localiza sobre el pilar uno y el máximo sobre el cuatro.

Como se muestra en la tabla 6.2 los valores obtenidos para la influencia no son grandes pero aún así son parámetros que se deben conocer.

Posteriormente se ha incluido en el cálculo la tendencia "regional" (tabla 6.3). Observando los resultados obtenidos se concluye con que las variaciones observadas en las medidas experimentales de gravedad parecen principalmente asociadas a la tendencia "regional" localizada en el entorno del pabellón de gravimetría. Como se muestra en la tabla 6.2 en la mayoría de los casos la influencia que genera la tendencia "regional" es mayor que la influencia que generan únicamente las masas. Para corregir las medidas de gravedad efectuadas es importante conocer la influencia total que generan tanto las masas que componen el edificio como la tendencia regional.

Tabla 6.3. Se muestran los valores de influencia generados por las masas del edificio y por la tendencia "regional". También se muestran los valores de gravedad experimentales.

PILAR	Influencia masas	Valores experimentales de gravedad	Tendencia "regional"	Influencia total
	(μGal)	(μGal)	(μGal)	(μGal)
1	0.1	4	1.5	1.6
2	1	8	0.4	1.4
3	1.4	16	4.1	5.5
4	8.6	18	5.4	14
5	1.4	13	4.3	5.7
6	0.9	7	2.1	3
7	0	0	0	0

Por otro lado, se han calculado los valores para los gradientes verticales en los pilares de medida y en un punto del exterior. Dichos gradientes también fueron medidos de forma experimental. Se hace la diferencia entre los valores experimentales y los calculados, tanto los que se obtienen con la influencia de las masas únicamente y los que se obtienen con la influencia total (regional + masas) (tabla 6.4). Para ambos casos los resultados son similares y de igual forma que para los valores de gravedad existe correspondencia entre las magnitudes de los valores experimentales y los calculados.

Tabla 6.4. Se muestran los resultados para el gradiente vertical obtenido de forma experimental y calculados únicamente con la influencia de las masas y también considerando la tendencia "regional". Los valores de influencia están calculados para una altura cero.

PUNTO	Valor experimental	$\Delta 12^*$	Influencia de masas	$\Delta 13^*$	Influencia total
	(μGal)	(μGal)	(μGal)	(μGal)	(μGal)
1	-0.7	-0.51	-0.19	-0.52	-0.18
2	-3.3	-3.12	-0.18	-3.12	-0.18
3	-2.3	-2.14	-0.16	-2.14	-0.16
4	-1.3	-1.2	-0.1	-1.18	-0.12
5	-0.4	-0.24	-0.16	-0.24	-0.16
6	-1.2	-1.02	-0.18	-1.02	-0.18
7	-0.5	-0.31	-0.19	-0.31	-0.19
exterior	-5.7	-4.91	-0.79	-4.75	-0.95

* La columna $\Delta 12$ se refiere a la diferencia entre la columna del valor experimental de los valores de gravedad y la columna de la influencia que generan las masas de la estructura del edificio. La columna $\Delta 13$ se refiere a la diferencia entre la columna del valor experimental de los valores de gravedad y la columna de la influencia que generan tanto las masas que componen la estructura del edificio como la tendencial "regional".

En el caso del mapa general correspondiente a la influencia generada por las masas que componen el edificio se puede observar que la influencia máxima se localiza en el interior de la sala de medida del Pabellón (figura 6.1, a). A medida que nos alejamos de dicha sala la influencia se va atenuando. Dicha influencia se considera despreciable a partir de los puntos con coordenadas $X = \pm 7$ m e $Y = \pm 10$ m. Sin embargo, en el segundo mapa general se observa como la tendencia máxima se sigue localizando en el área correspondiente al Pabellón pero que hay unos valores de influencia distintos en el sentido noreste y el suroeste (figura 6.1, b). En el primero de ellos se considera despreciable la influencia generada a partir de puntos con la coordenada $Y = -10$ m.

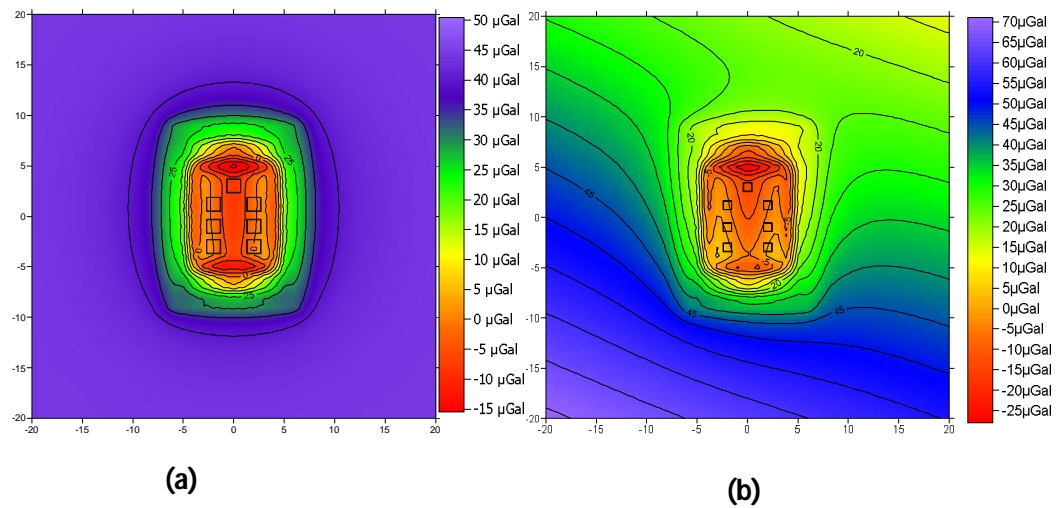


Figura 6.1. Se muestran unas miniaturas de los mapas generales de influencia sobre los valores de gravedad. El mapa (a) se corresponde con la influencia generada únicamente por las masas que componen el edificio. El mapa (b) se refiere a la influencia generada por las masas del edificio más la tendencia "regional".

6.1. CONCLUSIONES

En términos generales el modelo creado para el cálculo de la influencia sobre las medidas de gravedad del Pabellón de Gravimetría de Yebes puede servir como modelo inicial para posteriores soluciones más exactas. Se propone hacer una observación mediante nivelación de alta precisión para así poder conocer como varía el asentamiento de la estructura del edificio con el paso del tiempo.

Posteriormente el IGN va a llevar a cabo el cálculo de un modelo del subsuelo del entorno cercano al pabellón de gravimetría. Haber obtenido unos mapas con las influencias que generan las masas que componen el edificio y la tendencia "general" favorece dicho cálculo. Con los valores obtenidos se pueden mejorar los mapas de anomalías de Bouguer eliminando los valores de influencia del Pabellón.

El método de cálculo y modelización empleado en el presente TFG se puede generalizar para estructuras más complejas en diferentes proyectos. Se podrían realizar cálculos y modelizaciones de las estructuras que componen un edificio con forma de triángulo, trapecio o arco.

Por otro lado, no se considera necesaria la forma que se le asignó al Pabellón en su proyecto. Como se ha mencionado anteriormente, la influencia que genera el edificio sobre los valores de gravedad medidos a nivel del suelo no es de grandes magnitudes.

Ocurre lo contrario para los valores del gradiente vertical. Éste aumenta a medida que aumentamos en altura, como se observa en las tablas correspondientes a los gradientes verticales en el apartado de resultados obtenidos. Esto se debe a la forma de pirámide truncada, pues la carga de peso es mayor a medida que se aumenta en altura. Por ello, se propone que, para los edificios destinados a ser laboratorios de gravimetría de alta precisión, la estructura sea sencilla y que sus componentes se puedan modelizar en forma de prismas regulares. Sin embargo, sabiendo que la forma de edificio afecta de diferente modo a las medidas de la gravedad se pueden realizar estudios previos a las construcciones de los laboratorios y definir la forma en función de lo que se desee.

Es decir, se puede "deformar" la estructura regular del edificio para que en ciertos puntos se puedan obtener valores de gravedad mayores o menores. Esto puede servir de algún modo a mejorar la calibración de los instrumentos pues se pueden obtener distintas medidas en un mismo lugar y la intercomparación puede ser variada.

Un inconveniente que se ha presentado a la hora de realizar el TFG es que se ha trabajado en todo momento con los planos y fichas de materiales generadas antes de su construcción. Puede ser que en el momento de la construcción ciertos aspectos variaran, como se ha demostrado al encontrar el edificio ligeramente desorientado. Por ello, se propone que, tras realizar construcciones de éste tipo, de las cuales se necesite conocer cada detalle, se lleve a cabo un estudio exhaustivo de los componentes y formas finales de los elementos que lo componen. Así como un levantamiento para poder generar un plano una vez construido, "as built".

7. REFERENCIAS

BOE (2008). Real Decreto 1247/2008, de 18 de julio, por el que se aprueba la instrucción de hormigón estructural (EHE-08). <https://www.boe.es/boe/dias/2008/08/22/pdfs/C00001-00304.pdf>. Último acceso junio de 2014.

CAMACHO, A.G., ORTÍZ, E. y VIEIRA, R. (2002). Global adjustmen for the gravity calibration line Madrid-Valle de los caídos. Física de la Tierra. 14, 127-159, doi:10.1088/0026-1394/50/3/257.

CÓRDOBA, B., CALVO, M., LÓPEZ, J. y SERNA, J.M. The new Earth Tide Station in Spain: Yebes. Poster. <http://www.cgs.wat.edu.pl/ETS2013/posters.html>

CTE (2009), <http://www.codigotecnico.org/web/recursos/documentos/>. Último acceso junio 2014.

CHUECA, M. (1996). Métodos topográficos: Topografía y fotogrametría, España. S.A. Ediciones Paraninfo. 760 páginas.

FALLER, J., 2002. Thirty years of progress in absolute gravimetry: a scientific capability implemented by technological advances. Metrologia, 39, 425, doi:10.1088/0026-1394/39/5/3.

GGP (Global Geodynamics Project) (1997). <http://www.eas.slu.edu/GGP/ggphome.html>. Último acceso julio de 2014.

GONZALEZ, M. (2013). Caracterización del Pabellón de Gravimetría del Observatorio Astronómico de Yebes mediante Técnicas Gravimétricas. Trabajo Fin de Máster de Ingeniería Matemática.

GWR instruments (1979), INC. <http://www.gwrinstruments.com/>. Último acceso mayo de 2014.

GWR OSG-064 (2010): http://www.eas.slu.edu/GGP/stations/ys_yebes.html. Último acceso julio 2014

HEISKANEN W.A, y MORITZ H. (1981): Physical Geodesy, Graz, Austria. Instituto Geográfico Nacional, Instituto de Astronomía y Geodesia. 371 páginas.

IGN (2014). Historia del Instituto Geográfico Nacional, <http://www.ign.es/ign/resources/acercaDe/historia/CuerpoII.Geografos.pdf> BOE-A-2012-3160-56, <https://www.boe.es/boe/dias/2012/03/06/pdfs/BOE-A-2012-3160.pdf>. Último acceso junio de 2014.

IGN (2014). Descarga de archivos RINEX y datos de efemérides precisas desde <ftp://ftp.geodesia.ign.es/>. Último acceso mayo de 2014.

JIANG, Z., PÁLINKÁS, V., ARIAS, F.E., LIARD, J., MERLET, S., WILMES, H., VITUSHKIN, L., ROBERTSSON, L., TISSERAND, L., PEREIRA DOS SANTOS, F., BODART, Q., FALK, R., BAUMANN, H., MIZUSHIMA, S., MÄKINEN, J., BILKER-KOIVULA, M., LEE, C., CHOI, I. M., KARABOCE, B., JI, W., WU, Q., RUESS, D., ULLRICH, C., KOSTELECKÝ, J., SCHMERGE, D., ECKL, M., TIMMEN, L., LE MOIGNE, N., BAYER, R., OLSZAK, T., ÅGREN, J., DEL NEGRO, C., GRECO, F., DIAMENT, M., DEROUSSI, S., BONVALOT, S., KRYNSKI, J., SEKOWSKI, M., HU, H., WANG, L. J., SVITLOV, S., GERMAK, A., FRANCIS, O., BECKER, M., INGLIS D. y ROBINSON, I. 2012. The 8th International Comparison of Absolute Gravimeters 2009 - The First Metrological Key Comparison CCMG-K1. Metrologia, 49, 666-684. doi::10.1088/0026-1394/49/6/666.

LI, Y. y OLDENBURG, D., (1998). 3D inversion of gravity data. Geophysics, 63, 1, 109-119. doi: 10.1190/1.1444302.

LONGMAN, I., (1959). Formulas for computing the tidal accelerations due to the moon and the sun. Journal of Geophysical Research, 64, 2351-2355, doi: 10.1029/JZ064i012p02351.

NABIGHIAN, M., (1962). The gravitational attraction of a right vertical circular cylinder at points external to it. Geofis. Pure Appl., 53, 45-51.

NAGY, D. (1969). The gravitational attraction of a right rectangular prism. Geophysics, 31 (2), 362-371. doi: 10.1190/1.1439779.

NOAA (2014). Descarga de los ficheros con valores de calibración desde <http://www.ngs.noaa.gov/ANTCAL/>. Último acceso junio de 2014.

NÚÑEZ-GARCÍA, A., VALBUENA, J.L. y VELASCO, J. (1992): GPS La Nueva Era de la Topografía. Madrid. Ediciones de las Ciencias Sociales, S.A. 236.

OLIVER, F., HENRI, B., TOMAS, V., CHRISTIAN, R., GOLBERT, K., MARC S., NICOLAS D., RAY T., CHRISTIAN U., STEFAAN C., HU H., WU K., SHEN C., XUAN S., TAN H., LI Z.N, VOJTECH P., JAKUB K., JAAKKO M., JYRI N., SÉBASTIEN M., TRISTAN F., CHRISTINE G., FRANCK P. S., NICOLAS L., SABRINA DEVILLE, LUDGER TIMMEN, REINHARD FALK, HERBERT WILMES, DOMENICO I., FRANCESCO B., ALESSANDRO G., EMANUELE B., JAN K., MARCIN S., TOMASZ O., ANDRZEJ P., JONAS A., ANDREAS E., RENÉ R., PEDRO I., DANIEL M., GEOFF S., MARC E., TIM W., DEREK VAN W. y RYAN B. (2013). The European Comparison of Absolute Gravimeters 2011 (ECAG-2011) in Walferdange, Luxembourg: results and recommendations. Metrologia, 50, 257. doi:10.1088/0026-1394/50/3/257

PARASNIS, D., (1961). Exact expressions for the gravitational attraction of a circular lamina at all points of space and of a right circular vertical cylinder at points external to it. Geophysical Prospecting, 9, 3, 382-398.

QIANSHEN, W., CHIJUN, Z., FUZHEN, J. y WENHU, Z. (1996): Microgravimetry, Beijing, China. Science Press, 166 páginas.

RICCARDI, U., ROSAT, S. y HINDERER, J. (2011). Comparison of the Micro-g LaCoste gPhone-054 spring gravimeter and the GWR-C026 superconducting gravimeter in Strasbourg (France) using a 300-day time series. Metrologia, 48, 28. doi: doi:10.1088/0026-1394/48/1/003.

ROBERTSSON, L., FRANCIS, O., VANDAM, T.M., FALLER, J., RUESS, D., DELINTE, J-M., VITUSHKIN, L., LIARD, J., GAGNON, C., GUANG, G. Y., LUN h., YUAN, F. Y., YI, X.J., JEFFRIES, G., HOPEWELL, H., EDGE, R., ROBINSON, I., KIBBLE, B., MAKINEN, J., HINDERER, J., AMALVICT, M., LUCK, B., WILMES, H., REHREN, F., SCHMIDT, K., SCHNULL, M., CERUTTI, G., GERMAK, A., ZABEK, Z., PACHUTA, A., ARNAUTOV, G., KALISH, E., STUS, Y., STIZZA, D., FRIEDERICH, J., CHARTIER, J-M. y MARSON, I. (2001). Results from the Fifth International Comparison of Absolute Gravimeters, ICAG97. Metrologia, Vol 38, 71-78. DOI:10.1088/0026-1394/38/1/6.

Scintrex CG5#811 (2011):

http://scintrexltd.com/dat/content/file/Scintrex_CG5-DIGITAL-Brochure-R1.pdf. Último acceso julio 2014.

TORGE, W. (1989): Gravimetry, New York. Walter de Gruyter. 465 páginas.

TSUBOI, C. (1979): Gravity, Tokio, Japón. George Allen and Unwin. 254 páginas.

UDÍAS, A., y MEZCUA, J. (1997): Fundamentos de la geofísica, Madrid, España. Alianza Editorial. 476 páginas.

8. ANEXOS

Reseña de los vértices que componen la Red GNSS

VÉRTICE N° 1000

COORDENADAS ETRS-89			
UTM – 30N		Geográficas	
E	492335.04 m	φ	40°31'26.38"
N	4485922.00 m	λ	-3°05'25.76"
Altura elipsoidal			917.15 m
Cte. Anamorfosis lineal			0.9996
Precisiones:			
σE	0.0035 m		
σN	0.0038 m		
σH	0.0104 m		

Fecha de señalización	31-abril-2014
Tipo de señal	Clavo sobre estaca
Fecha de compensación	4-mayo-2014

RESEÑA LITERAL

Localizado en el Observatorio Astronómico Nacional de Yebes.

Al Observatorio se accede desde el municipio de Yebes por la carretera GU-204. La entrada se encuentra en el kilómetro tres de dicha carretera.

Estaca que se encuentra situada en el área cercana al Pabellón de Gravimetría. Orientado hacia el noroeste, considerando el centro de los ejes en el centro de la sala de gravimetría. Situado sobre suelo de tierra.

CROQUIS



SITUACIÓN Y ACCESO



Recorte tomado de mapa a escala 1:30500 del visor IBERPIX del IGN



Recorte tomado de mapa a escala 1:8000 del visor IBERPIX del IGN



Recorte tomado de imagen aérea a escala 1:2000 del visor IBERPIX del IGN

FOTOGRAFÍA



VÉRTICE N° 1001

COORDENADAS ETRS-89			
UTM – 30N		Geográficas	
E	492365.39 m	φ	40°31'26.99"
N	4485940.77 m	λ	-3°05'24.48"
Altura elipsoidal			917.52 m
Cte. Anamorfosis lineal			0.9996
Precisiones:			
σE	0.0016 m		
σN	0.0022 m		
σH	0.0045 m		

Fecha de señalización	31-abril-2014
Tipo de señal	Clavo sobre estaca
Fecha de compensación	4-mayo-2014

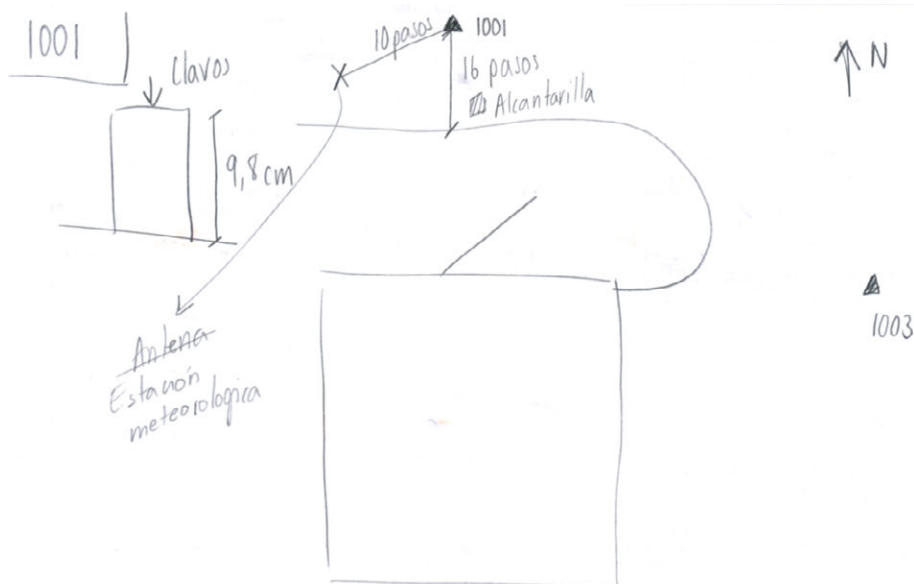
RESEÑA LITERAL

Localizado en el Observatorio Astronómico Nacional de Yebes.

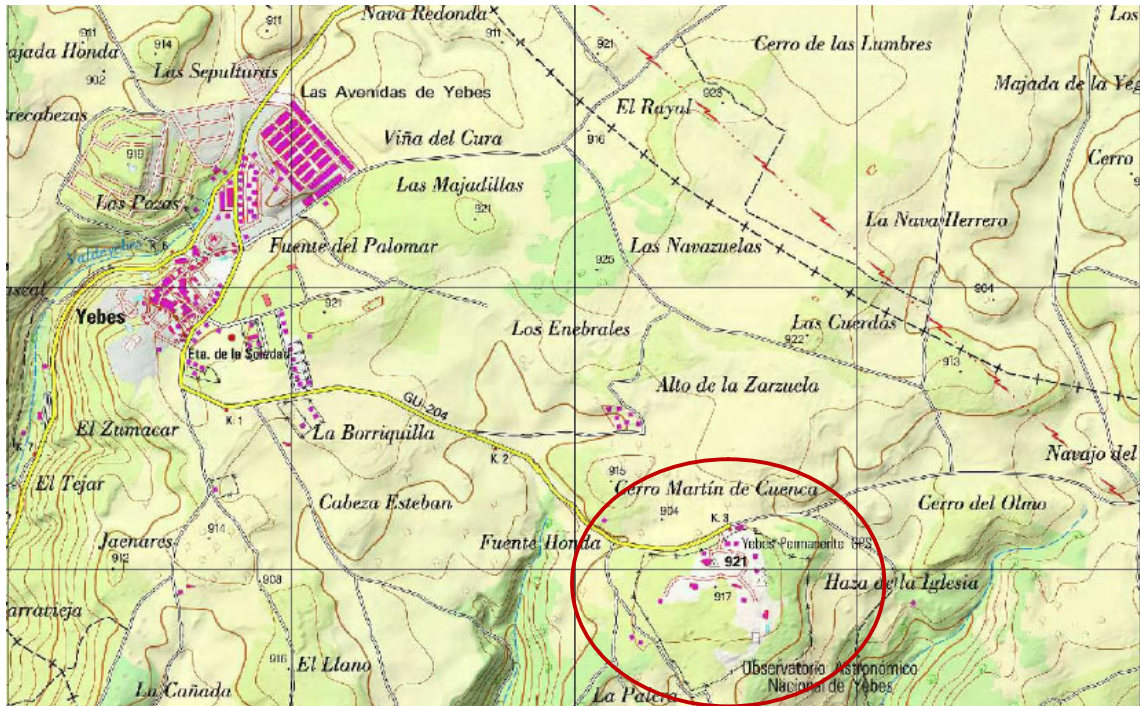
Al Observatorio se accede desde el municipio de Yebes por la carretera GU-204. La entrada se encuentra en el kilómetro tres de dicha carretera.

Estaca que se encuentra situada en el área cercana al Pabellón de Gravimetría. Orientado hacia el norte, considerando el centro de los ejes en el centro de la sala de gravimetría. Situado sobre suelo de tierra.

CROQUIS



SITUACIÓN Y ACCESO



Recorte tomado de mapa a escala 1:30500 del visor IBERPIX del IGN



Recorte tomado de mapa a escala 1:8000 del visor IBERPIX del IGN



Recorte tomado de imagen aérea a escala 1:2000 del visor IBERPIX del IGN

FOTOGRAFÍA



VÉRTICE N° 1002

COORDENADAS ETRS-89			
UTM – 30N		Geográficas	
E	492363.68 m	φ	40°31'26.30"
N	4485919.56 m	λ	-3°05'24.55"
Altura elipsoidal			917.63 m
Cte. Anamorfosis lineal			0.9996
Precisiones:			
σ_E	0.0022 m		
σ_N	0.0029 m		
σ_H	0.0057 m		

Fecha de señalización	31-abril-2014
Tipo de señal	Clavo
Fecha de compensación	4-mayo-2014

RESEÑA LITERAL

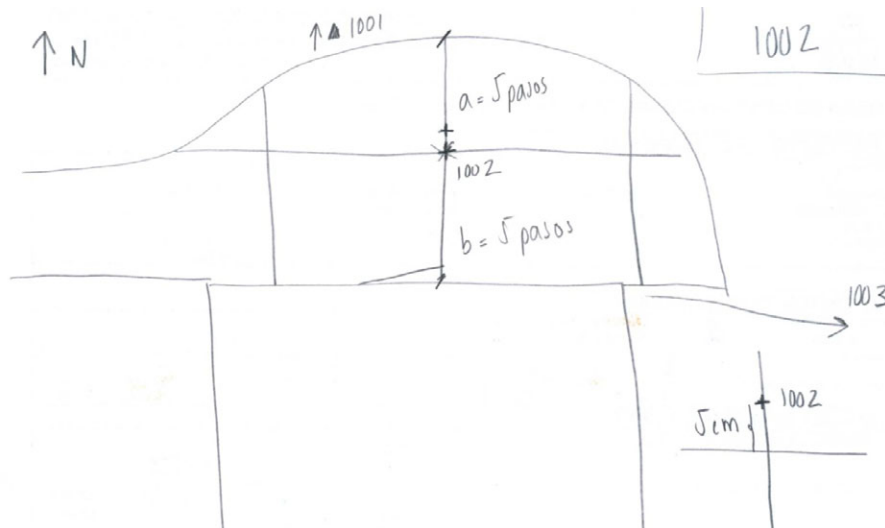
Localizado en el Observatorio Astronómico Nacional de Yebes.

Al Observatorio se accede desde el municipio de Yebes por la carretera GU-204. La entrada se encuentra en el kilómetro tres de dicha carretera.

Clavo que se encuentra situado frente a la puerta del Pabellón de Gravimetría. Orientado hacia el norte, considerando el centro de los ejes en el centro de la sala de gravimetría.

Situado sobre suelo de cemento, próximo a la intersección de cuatro losas de cemento.

CROQUIS



SITUACIÓN Y ACCESO



Recorte tomado de mapa a escala 1:30500 del visor IBERPIX del IGN



Recorte tomado de mapa a escala 1:8000 del visor IBERPIX del IGN



Recorte tomado de imagen aérea a escala 1:2000 del visor IBERPIX del IGN

FOTOGRAFÍA



VÉRTICE N° 1003

COORDENADAS ETRS-89			
UTM – 30N		Geográficas	
E	492392.48 m	φ	40°31'25.1"
N	4485910.14 m	λ	-3°05'23.33"
Altura elipsoidal			917.65 m
Cte. Anamorfosis lineal			0.9996
Precisiones:			
σE	0.0016 m		
σN	0.0020 m		
σH	0.0043 m		

Fecha de señalización	31-abril-2014
Tipo de señal	Clavo sobre estaca
Fecha de compensación	4-mayo-2014

RESEÑA LITERAL

Localizado en el Observatorio Astronómico Nacional de Yebes.

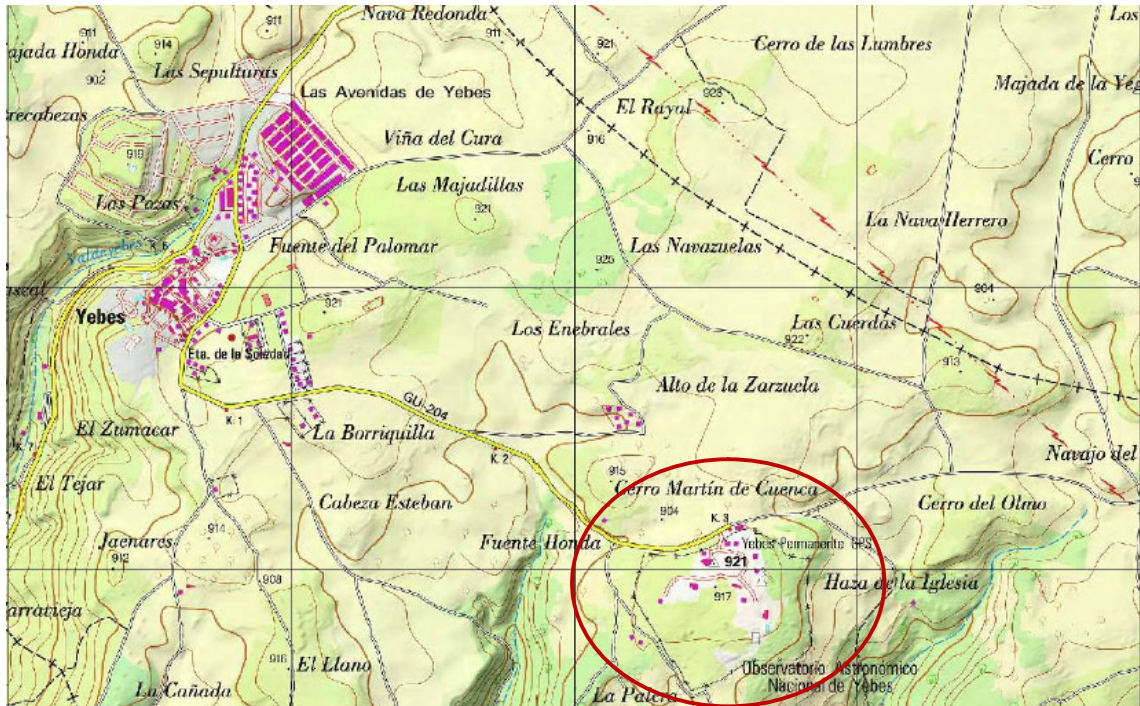
Al Observatorio se accede desde el municipio de Yebes por la carretera GU-204. La entrada se encuentra en el kilómetro tres de dicha carretera.

Estaca que se encuentra situada en el área cercana al Pabellón de Gravimetría. Orientado hacia el este, considerando el centro de los ejes en el centro de la sala de gravimetría. Situado sobre suelo de tierra.

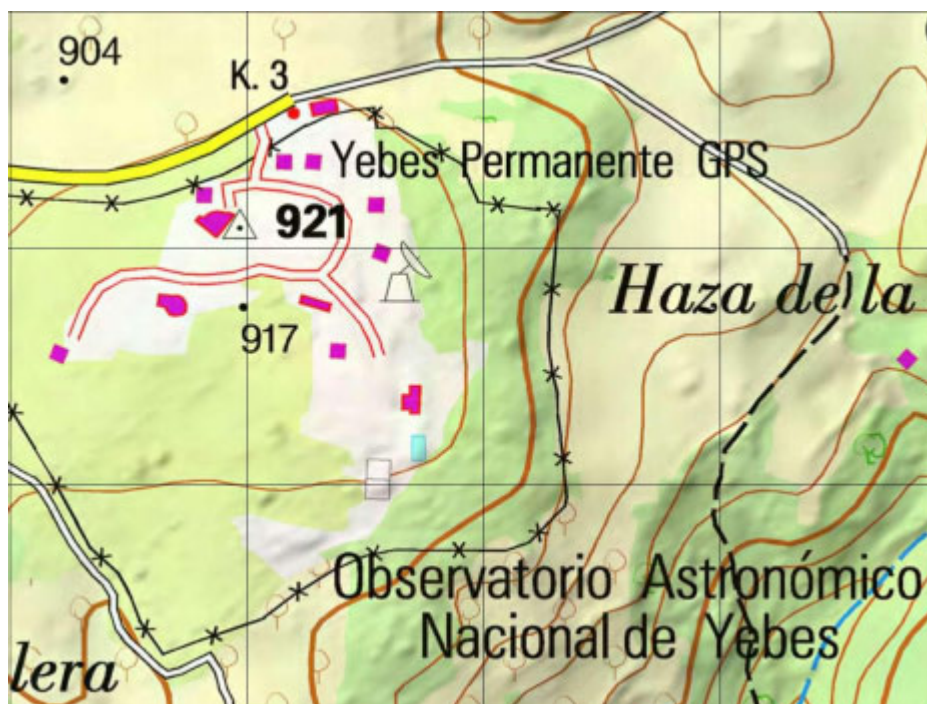
CROQUIS



SITUACIÓN Y ACCESO



Recorte tomado de mapa a escala 1:30500 del visor IBERPIX del IGN



Recorte tomado de mapa a escala 1:8000 del visor IBERPIX del IGN



Recorte tomado de imagen aérea a escala 1:2000 del visor IBERPIX del IGN

FOTOGRAFÍA



VÉRTICE N° 1004

COORDENADAS ETRS-89			
UTM – 30N		Geográficas	
E	492389.46 m	φ	40°31'25.15"
N	4485884.32 m	λ	-3°05'23.45"
Altura elipsoidal			917.33 m
Cte. Anamorfosis lineal			0.9996
Precisiones:			
σE	0.0018 m		
σN	0.0021 m		
σH	0.0051 m		

Fecha de señalización	31-abril-2014
Tipo de señal	Clavo sobre estaca
Fecha de compensación	4-mayo-2014

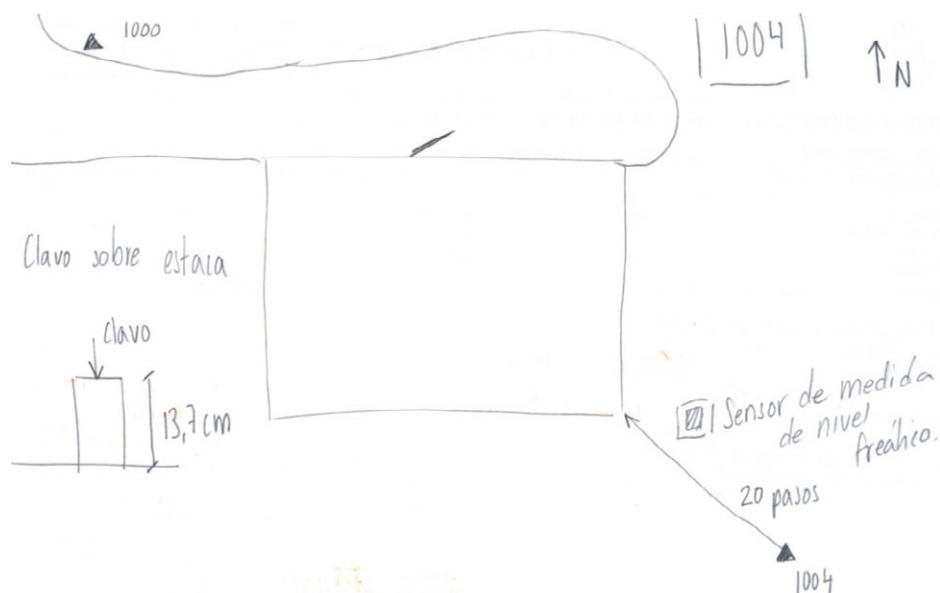
RESEÑA LITERAL

Localizado en el Observatorio Astronómico Nacional de Yebes.

Al Observatorio se accede desde el municipio de Yebes por la carretera GU-204. La entrada se encuentra en el kilómetro tres de dicha carretera.

Estaca que se encuentra situada en el área cercana al Pabellón de Gravimetría. Orientado hacia el sureste, considerando el centro de los ejes en el centro de la sala de gravimetría. Situado sobre suelo de tierra.

CROQUIS



SITUACIÓN Y ACCESO



Recorte tomado de mapa a escala 1:30500 del visor IBERPIX del IGN



Recorte tomado de mapa a escala 1:8000 del visor IBERPIX del IGN

Cálculo de la atracción gravimétrica inducida por el pabellón de gravimetría del centro de desarrollos tecnológicos de Yebes (Instituto Geográfico Nacional)



Recorte tomado de imagen aérea a escala 1:2000 del visor IBERPIX del IGN

FOTOGRAFÍA



VÉRTICE N° 1005

COORDENADAS ETRS-89			
UTM – 30N		Geográficas	
E	492412.59 m	ϕ	40°31'25.37"
N	4485890.94 m	λ	-3°05'22.47"
Altura elipsoidal			917.21 m
Cte. Anamorfosis lineal			0.9996
Precisiones:			
σE	0.0015 m		
σN	0.0019 m		
σH	0.0041 m		

Fecha de señalización	31-abril-2014
Tipo de señal	Clavo sobre estaca
Fecha de compensación	4-mayo-2014

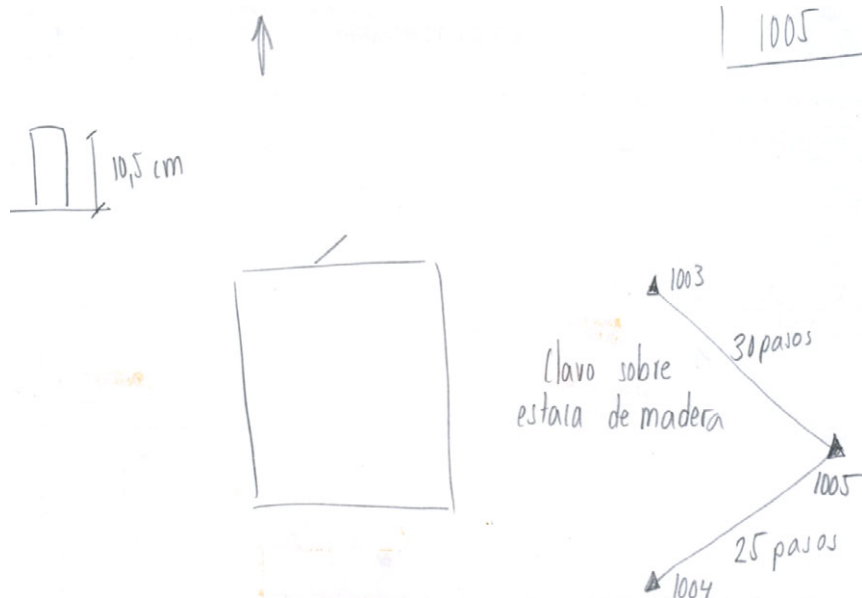
RESEÑA LITERAL

Localizado en el Observatorio Astronómico Nacional de Yebes.

Al Observatorio se accede desde el municipio de Yebes por la carretera GU-204. La entrada se encuentra en el kilómetro tres de dicha carretera.

Estaca que se encuentra situada en el área cercana al Pabellón de Gravimetría. Orientado hacia el este, considerando el centro de los ejes en el centro de la sala de gravimetría. Situado sobre suelo de tierra.

CROQUIS



[illegible]

Recorte tomado de mapa a escala 1:8000 del visor IBERPIX del IGN



Recorte tomado de imagen aérea a escala 1:2000 del visor IBERPIX del IGN

FOTOGRAFÍA



VÉRTICE N° 1006

COORDENADAS ETRS-89			
UTM – 30N		Geográficas	
E	492309.03 m	φ	40°31'25.98''
N	4485909.86 m	λ	-3°05'26.87''
Altura elipsoidal			916.4 m
Cte. Anamorfosis lineal			0.9996
Precisiones:			
σE	0.0018 m		
σN	0.0019 m		
σH	0.0049 m		

Fecha de señalización	31-abril-2014
Tipo de señal	Clavo
Fecha de compensación	4-mayo-2014

RESEÑA LITERAL

Localizado en el Observatorio Astronómico Nacional de Yebes.

Al Observatorio se accede desde el municipio de Yebes por la carretera GU-204. La entrada se encuentra en el kilómetro tres de dicha carretera.

Clavo situado en el área cercana al Pabellón de Gravimetría. Orientado hacia el suroeste, considerando el centro de los ejes en el centro de la sala de gravimetría.

Situado sobre la intersección de la esquina de un sumidero de alcantarilla y el asfalto de la carretera.

CROQUIS



SITUACIÓN Y ACCESO



Recorte tomado de mapa a escala 1:30500 del visor IBERPIX del IGN



Recorte tomado de mapa a escala 1:8000 del visor IBERPIX del IGN



Recorte tomado de imagen aérea a escala 1:2000 del visor IBERPIX del IGN

FOTOGRAFÍA



Reseñas de las estaciones permanentes de Yebes

 GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE FOMENTO INSTITUTO GEODÉSICO NACIONAL	Área de Geodesia Subdirección General de Geodesia y Cartografía				
Reseña de Estación Permanente - ERGNSS		1-feb-2014			
Situación: <table style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%;"> Código: YEB1 Nombre: YEBES 1 Código IERS: 13420M002 Instalación: 22 de abril de 2009 </td> <td style="width: 50%;"> Municipio: Yebes Provincia: Guadalajara </td> </tr> </table>			Código: YEB1 Nombre: YEBES 1 Código IERS: 13420M002 Instalación: 22 de abril de 2009	Municipio: Yebes Provincia: Guadalajara	
Código: YEB1 Nombre: YEBES 1 Código IERS: 13420M002 Instalación: 22 de abril de 2009	Municipio: Yebes Provincia: Guadalajara				
Localización: Guadalajara Centro Astronómico de Yebes, Aptdo. 143, 19080 - Guadalajara					
Construcción: Pilar de hormigón armado de 1.2 m de altura. Marca de coordenadas, parte superior sobre placa metálica.					
Coordenadas ETRS89: <table style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 33%;"> Longitud: - 3° 05' 24,71087" Latitud: 40° 31' 25,60071" Altitud elipsoidal: 975.367 m </td> <td style="width: 33%;"> X: 4848800.403 m Y: -261769.653 m Z: 4123001.077 m </td> <td style="width: 33%;"> Altitud sobre el nivel medio del mar: 923.378 m </td> </tr> </table>			Longitud: - 3° 05' 24,71087" Latitud: 40° 31' 25,60071" Altitud elipsoidal: 975.367 m	X: 4848800.403 m Y: -261769.653 m Z: 4123001.077 m	Altitud sobre el nivel medio del mar: 923.378 m
Longitud: - 3° 05' 24,71087" Latitud: 40° 31' 25,60071" Altitud elipsoidal: 975.367 m	X: 4848800.403 m Y: -261769.653 m Z: 4123001.077 m	Altitud sobre el nivel medio del mar: 923.378 m			
Instrumentación: Receptor: LEICA GRX1200+GNSS Antena: LEIAR25 NONE Altura: 0.0600 m. (ARP) Offset de centros de fase de antena: L1 0.155 m. L2 0.164 m. Esquema antena 					
Información adicional: Esta estación permanente pertenece a la red ERGNSS. Datos horarios a 1, 5, 15 y 30 segundos y diarios a 30 segundos ftp://ftp.geodesia.ign.es Emite correcciones diferenciales a través del Caster http://ernss-lo.ign.es a través de los puntos de montaje: - YEB10 formato de la corrección RTCM versión RTCM 3.1 - YEB11 formato de la corrección RTCM versión RTCM 2.3 E-mail de contacto: huzon-geodesia@fomento.es					
					
					
		Observaciones: <div style="border: 1px solid black; height: 100px; width: 100%;"></div>			



Área de Geodesia
Subdirección General de Geodesia y Cartografía

Reseña de Estación Permanente - ERGNSS

1-feb-2014

Situación:

Código.....: **YEBE**
Nombre.....: **Yebes**
Código IERS: 13420M001
Instalación....: 30 de noviembre de 1992

Municipio: Yebes

Provincia: Guadalajara

Localización.: Guadalajara
Centro Astronómico de Yebes, Aptdo. 143, 19080 -
Guadalajara

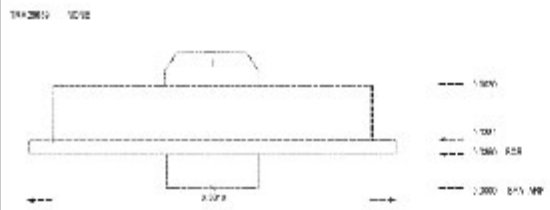
Construcción: Pilar de hormigón armado de 1.2 m de altura.
Marca de coordenadas, parte superior sobre placa
metálica.

Coordenadas ETRS89:

Longitud.....: -3° 05' 19.06498" X.....: 4848724.914 m.
Latitud.....: 40° 31' 29.63168" Y.....: -261632.472 m.
Altitud elipsoidal: 972.778 m. Z.....: 4123093.922 m.
X UTM.....: 492492.886 m. Altitud sobre el nivel medio del
Y UTM.....: 4486022.150 m. mar:
Huso.....: 30 920.813 m.

Instrumentación:

Receptor: TRIMBLE NETRS
Antena: TRM29659.00 NONE Altura: 0.0000 m. (ARP)
Offset de centros de fase de antena: L1 0.091 m. L2 0.120 m.
Esquema antena



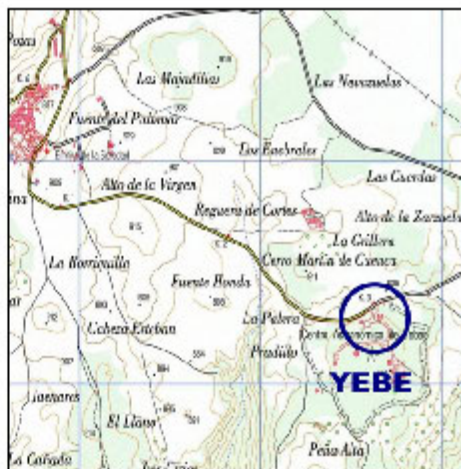
Información adicional:

Esta estación permanente, además de a la red ERGNSS, pertenece a las siguientes redes:
- Red de EUREF Permanent Network (EPN): <http://www.epncb.com>
- Red del International GNSS Services (IGS): <http://igsceb.jpl.nasa.gov>
- Red TEIDE

Datos horarios a 1, 5, 15 y 30 segundos y diarios a 30 segundos
<http://mg.geodesia.ign.es>

Emita correcciones diferenciales a través del Caster <http://ergnss-ip.ign.es>
a través del punto de montaje:
- YEBE0 formato de la corrección RTCM versión RTCM 2.3

E-mail de contacto: buzon-geodesia@fomento.es



Observaciones:

Cálculo de la precisión a priori para medidas con prisma

	DATOS	
Radio de la tierra	6378000	metros
Resolución aparato óptico	5	segundos cente
Distancia media	16	metros
Sensibilidad nivel electrónico	0.0600	grados cente
Error de instrumental (m_i)	2.032	milímetros
Aumentos	30	
Error del jalón	0.0015	metros
Error de estación	5	milímetros
Error de señal	9	milímetros
Error de posición de la estación	20	milímetros
coeficiente de mayoración K	3	
coeficiente C	0.0150	grados
rcc	636620	

ERRORES EN PLANIMETRÍA			
ERROR	VALOR	UNIDADES	
Error en la distancia σ_D	10.6	milímetros	
error en la señal σ_s	9	milímetros	
error en la estación σ_e	5	milímetros	
error instrumental σ_i	2.0320	milímetros	
error de jalón	1.5080	milímetros	
Error total acimutal $\sigma_{\alpha a}$	410	segundos cente	
error de puntería σ_p	0.0011	grados	
error de lectura σ_l	0.0005	grados	
error de verticalidad σ_v	0.0005	grados	
error de dirección σ_d	0.0410	grados	
EN (abs)	24.7	milímetros	
Error transversal σ_T	14.6	milímetros	
Error longitudinal σ_L	10.6	milímetros	
EN (rel)	14.6	milímetros	pues $\sigma_T > \sigma_L$
ERRORES EN ALTIMETRÍA			
Error del desnivel	2.2	milímetros	
error de instrumento σ_i	2.0320	milímetros	
error angular $\sigma_{\alpha v}$	0	milímetros	
error de distancia σ_d	0.8318	milímetros	
error de refracción σ_r	0.0052	milímetros	
error de inclinación del jalón σ_j	0.000111	milímetros	
Error total cenital $\sigma_{\alpha c}$	12	segundos cente	
error de verticalidad σ_v	0.0000	grados	
error de puntería σ_p	0.0011	grados	
error de lectura σ_l	0.0005	grados	
error σ_H	20.1	milímetros	

Cálculo de la precisión a priori para medidas sin prisma

	DATOS	
Radio de la tierra	6378000	metros
Resolución aparato óptico	5	segundos cente
Distancia media	3.2	metros
Sensibilidad nivel electrónico	0.0600	grados cente
Error de instrumental (mi)	3.0064	milímetros
Aumentos	30	
Error del jalón	0.0015	metros
Error de estación	5	milímetros
Error de señal	9	milímetros
Error de posición de la estación	20	milímetros
coeficiente de mayoración K	3	
coeficiente C	0.0150	grados
rcc	636620	

ERRORES EN PLANIMETRÍA			
ERROR	VALOR	UNIDADES	
Error en la distancia σ_D	10.8	milímetros	
error en la señal σ_s	9	milímetros	
error en la estación σ_e	5	milímetros	
error instrumental σ_i	3.0064	milímetros	
error de jalón	1.5080	milímetros	
Error total acimutal $\sigma_{\alpha a}$	2048	segundos cente	
error de puntería σ_p	0.0011	grados	
error de lectura σ_l	0.0005	grados	
error de verticalidad σ_v	0.0005	grados	
error de dirección σ_d	0.2048	grados	
EN (abs)	24.7	milímetros	
Error transversal σ_T	14.6	milímetros	
Error longitudinal σ_L	10.8	milímetros	
EN (rel)	14.6	milímetros	pues $\sigma_T > \sigma_L$
ERRORES EN ALTIMETRÍA			
ERROR	VALOR	UNIDADES	
Error del desnivel	3.1	milímetros	
error de instrumento σ_i	3.0064	milímetros	
error angular $\sigma_{\alpha v}$	0	milímetros	
error de distancia σ_d	0.8498	milímetros	
error de refracción σ_r	0.0002	milímetros	
error de inclinación del jalón σ_j	0.000111	milímetros	
Error total cenital $\sigma_{\alpha c}$	12	segundos cente	
error de verticalidad σ_v	0.0000	grados	
error de puntería σ_p	0.0011	grados	
error de lectura σ_l	0.0005	grados	
error σ_H	20.2	milímetros	

Cálculo de la precisión a posteriori para medidas con prisma para una distancia mínima

	DATOS	
Radio de la tierra	6378000	metros
Resolución aparato óptico	5	segundos cente
Distancia mínima	12.6845	metros
Sensibilidad nivel electrónico	0.0600	grados cente
Error de instrumental (mi)	2.025369	milímetros
Aumentos	30	
Error del jalón	0.0014	metros
Error de estación	5	milímetros
Error de señal	9	milímetros
Error de posición de la estación	20	milímetros
coeficiente de mayoración K	3	
coeficiente C	0.0150	grados
rcc	636620	

ERRORES EN PLANIMETRÍA			
ERROR	VALOR	UNIDADES	
Error en la distancia σ_D	10.6	milímetros	
error en la señal σ_s	9	milímetros	
error en la estación σ_e	5	milímetros	
error instrumental σ_i	2.0254	milímetros	
error de jalón	1.4043	milímetros	
Error total acimutal $\sigma_{\alpha a}$	517	segundos cente	
error de puntería σ_p	0.0011	grados	
error de lectura σ_l	0.0005	grados	
error de verticalidad σ_v	0.0005	grados	
error de dirección σ_d	0.0517	grados	
EN (abs)	24.7	milímetros	
Error transversal σ_T	14.6	milímetros	
Error longitudinal σ_L	10.6	milímetros	
EN (rel)	14.6	milímetros	pues $\sigma_T > \sigma_L$
ERRORES EN ALTIMETRÍA			
Error del desnivel	2.2	milímetros	
error de instrumento σ_i	2.0254	milímetros	
error angular $\sigma_{\alpha v}$	0	milímetros	
error de distancia σ_d	0.8306	milímetros	
error de refracción σ_r	0.0033	milímetros	
error de inclinación del jalón σ_j	0.000111	milímetros	
Error total cenital $\sigma_{\alpha c}$	12	segundos cente	
error de verticalidad σ_v	0.0000	grados	
error de puntería σ_p	0.0011	grados	
error de lectura σ_l	0.0005	grados	
error σ_H	20.1	milímetros	

Cálculo de la precisión a posteriori para medidas con prisma para una distancia media

	DATOS	
Radio de la tierra	6378000	metros
Resolución aparato óptico	5	segundos cente
Distancia media	29.26	metros
Sensibilidad nivel electrónico	0.0600	grados cente
Error de instrumental (mi)	2.05852	milímetros
Aumentos	30	
Error del jalón	0.0014	metros
Error de estación	5	milímetros
Error de señal	9	milímetros
Error de posición de la estación	20	milímetros
coeficiente de mayoración K	3	
coeficiente C	0.0150	grados
rcc	636620	

ERRORES EN PLANIMETRÍA			
ERROR	VALOR	UNIDADES	
Error en la distancia σ_D	10.6	milímetros	
error en la señal σ_s	9	milímetros	
error en la estación σ_e	5	milímetros	
error instrumental σ_i	2.0585	milímetros	
error de jalón	1.4043	milímetros	
Error total acimutal σ_{α}	224	segundos cente	
error de puntería σ_p	0.0011	grados	
error de lectura σ_l	0.0005	grados	
error de verticalidad σ_v	0.0005	grados	
error de dirección σ_d	0.0224	grados	
EN (abs)	24.8	milímetros	
Error transversal σ_T	14.6	milímetros	
Error longitudinal σ_L	10.6	milímetros	
EN (rel)	14.6	milímetros	pues $\sigma_T > \sigma_L$
ERRORES EN ALTIMETRÍA			
Error del desnivel	2.3	milímetros	
error de instrumento σ_i	2.0585	milímetros	
error angular σ_{α}	1	milímetros	
error de distancia σ_d	0.8311	milímetros	
error de refracción σ_r	0.0175	milímetros	
error de inclinación del jalón σ_j	0.000111	milímetros	
Error total cenital σ_c	12	segundos cente	
error de verticalidad σ_v	0.0000	grados	
error de puntería σ_p	0.0011	grados	
error de lectura σ_l	0.0005	grados	
error σ_H	20.1	milímetros	

Cálculo de la precisión a posteriori para medidas con prisma para una distancia máxima

	DATOS	
Radio de la tierra	6378000	metros
Resolución aparato óptico	5	segundos cente
Distancia máxima	56.7285	metros
Sensibilidad nivel electrónico	0.0600	grados cente
Error de instrumental (mi)	2.113457	milímetros
Aumentos	30	
Error del jalón	0.0014	metros
Error de estación	5	milímetros
Error de señal	9	milímetros
Error de posición de la estación	20	milímetros
coeficiente de mayoración K	3	
coeficiente C	0.0150	grados
rcc	636620	

ERRORES EN PLANIMETRÍA			
ERROR	VALOR	UNIDADES	
Error en la distancia σ_D	10.6	milímetros	
error en la señal σ_s	9	milímetros	
error en la estación σ_e	5	milímetros	
error instrumental σ_i	2.1135	milímetros	
error de jalón	1.4043	milímetros	
Error total acimutal $\sigma_{\alpha a}$	116	segundos cente	
error de puntería σ_p	0.0011	grados	
error de lectura σ_l	0.0005	grados	
error de verticalidad σ_v	0.0005	grados	
error de dirección σ_d	0.0116	grados	
EN (abs)	24.8	milímetros	
Error transversal σ_T	14.6	milímetros	
Error longitudinal σ_L	10.6	milímetros	
EN (rel)	14.6	milímetros	pues $\sigma_T > \sigma_L$
ERRORES EN ALTIMETRÍA			
Error del desnivel	2.5	milímetros	
error de instrumento σ_i	2.1135	milímetros	
error angular $\sigma_{\alpha v}$	1	milímetros	
error de distancia σ_d	0.8320	milímetros	
error de refracción σ_r	0.0656	milímetros	
error de inclinación del jalón σ_j	0.000111	milímetros	
Error total cenital $\sigma_{\alpha c}$	12	segundos cente	
error de verticalidad σ_v	0.0000	grados	
error de puntería σ_p	0.0011	grados	
error de lectura σ_l	0.0005	grados	
error σ_H	20.2	milímetros	

Cálculo de la precisión a posteriori para medidas sin prisma para una distancia mínima

	DATOS	
Radio de la tierra	6378000	metros
Resolución aparato óptico	5	segundos cente
Distancia mínima	2.389	metros
Sensibilidad nivel electrónico	0.0600	grados cente
Error de instrumental (mi)	3.004778	milímetros
Aumentos	30	
Error del jalón	0.0014	metros
Error de estación	5	milímetros
Error de señal	9	milímetros
Error de posición de la estación	20	milímetros
coeficiente de mayoración K	3	
coeficiente C	0.0150	grados
rcc	636620	

ERRORES EN PLANIMETRÍA			
ERROR	VALOR	UNIDADES	
Error en la distancia σ_D	10.8	milímetros	
error en la señal σ_s	9	milímetros	
error en la estación σ_e	5	milímetros	
error instrumental σ_i	3.0048	milímetros	
error de jalón	1.4043	milímetros	
Error total acimutal σ_{α}	2744	segundos cente	
error de puntería σ_p	0.0011	grados	
error de lectura σ_l	0.0005	grados	
error de verticalidad σ_v	0.0005	grados	
error de dirección σ_d	0.2744	grados	
EN (abs)	24.7	milímetros	
Error transversal σ_T	14.6	milímetros	
Error longitudinal σ_L	10.8	milímetros	
EN (rel)	14.6	milímetros	pues $\sigma_T > \sigma_L$
ERRORES EN ALTIMETRÍA			
Error del desnivel	3.1	milímetros	
error de instrumento σ_i	3.0048	milímetros	
error angular $\sigma_{\alpha v}$	0	milímetros	
error de distancia σ_d	0.8487	milímetros	
error de refracción σ_r	0.0001	milímetros	
error de inclinación del jalón σ_j	0.000111	milímetros	
Error total cenital $\sigma_{\alpha c}$	12	segundos cente	
error de verticalidad σ_v	0.0000	grados	
error de puntería σ_p	0.0011	grados	
error de lectura σ_l	0.0005	grados	
error σ_H	20.2	milímetros	

Cálculo de la precisión a posteriori para medidas sin prisma para una distancia media

	DATOS	
Radio de la tierra	6378000	metros
Resolución aparato óptico	5	segundos cente
Distancia media	5.1884	metros
Sensibilidad nivel electrónico	0.0600	grados cente
Error de instrumental (mi)	3.0103768	milímetros
Aumentos	30	
Error del jalón	0.0014	metros
Error de estación	5	milímetros
Error de señal	9	milímetros
Error de posición de la estación	20	milímetros
coeficiente de mayoración K	3	
coeficiente C	0.0150	grados
rcc	636620	

ERRORES EN PLANIMETRÍA			
ERROR	VALOR	UNIDADES	
Error en la distancia σ_D	10.8	milímetros	
error en la señal σ_s	9	milímetros	
error en la estación σ_e	5	milímetros	
error instrumental σ_i	3.0104	milímetros	
error de jalón	1.4043	milímetros	
Error total acimutal σ_{α}	1263	segundos cente	
error de puntería σ_p	0.0011	grados	
error de lectura σ_l	0.0005	grados	
error de verticalidad σ_v	0.0005	grados	
error de dirección σ_d	0.1263	grados	
EN (abs)	24.7	milímetros	
Error transversal σ_T	14.6	milímetros	
Error longitudinal σ_L	10.8	milímetros	
EN (rel)	14.6	milímetros	pues $\sigma_T > \sigma_L$
ERRORES EN ALTIMETRÍA			
Error del desnivel	3.1	milímetros	
error de instrumento σ_i	3.0104	milímetros	
error angular $\sigma_{\alpha v}$	0	milímetros	
error de distancia σ_d	0.8488	milímetros	
error de refracción σ_r	0.0005	milímetros	
error de inclinación del jalón σ_j	0.000111	milímetros	
Error total cenital $\sigma_{\alpha c}$	12	segundos cente	
error de verticalidad σ_v	0.0000	grados	
error de puntería σ_p	0.0011	grados	
error de lectura σ_l	0.0005	grados	
error σ_H	20.2	milímetros	

Cálculo de la precisión a posteriori para medidas sin prisma para una distancia máxima

	DATOS	
Radio de la tierra	6378000	metros
Resolución aparato óptico	5	segundos cente
Distancia maxima	12.665	metros
Sensibilidad nivel electrónico	0.0600	grados cente
Error de instrumental (mi)	3.02533	milímetros
Aumentos	30	
Error del jalón	0.0014	metros
Error de estación	5	milímetros
Error de señal	9	milímetros
Error de posición de la estación	20	milímetros
coeficiente de mayoración K	3	
coeficiente C	0.0150	grados
rcc	636620	

ERRORES EN PLANIMETRÍA			
ERROR	VALOR	UNIDADES	
Error en la distancia σ_D	10.8	milímetros	
error en la señal σ_s	9	milímetros	
error en la estación σ_e	5	milímetros	
error instrumental σ_i	3.0253	milímetros	
error de jalón	1.4043	milímetros	
Error total acimutal σ_{aa}	518	segundos cente	
error de puntería σ_p	0.0011	grados	
error de lectura σ_l	0.0005	grados	
error de verticalidad σ_v	0.0005	grados	
error de dirección σ_d	0.0518	grados	
EN (abs)	24.7	milímetros	
Error transversal σ_T	14.6	milímetros	
Error longitudinal σ_L	10.8	milímetros	
EN (rel)	14.6	milímetros	pues $\sigma_T > \sigma_L$
ERRORES EN ALTIMETRÍA			
Error del desnivel	3.2	milímetros	
error de instrumento σ_i	3.0253	milímetros	
error angular σ_{av}	0	milímetros	
error de distancia σ_d	0.8491	milímetros	
error de refracción σ_r	0.0033	milímetros	
error de inclinación del jalón σ_j	0.000111	milímetros	
Error total cenital σ_{ac}	12	segundos cente	
error de verticalidad σ_v	0.0000	grados	
error de puntería σ_p	0.0011	grados	
error de lectura σ_l	0.0005	grados	
error σ_H	20.2	milímetros	

Observaciones del levantamiento depuradas

Pto estación	Pto visado		Hz		V	error _{ecímetro}	LV correcta	Dgeom
1002	ref 1111	CD	0.0005	CD	81.5635			
		CI	200.0004	CI				
i = 1.585		Corr	0.0005	Sum				
1002	1006	CD	208.5140	CD	101.4320	0.0002	101.4323	55.58
		CI	8.5185	CI	298.5685			55.583
i = 1.585	p = 1.49	Corr	208.5163	Sum	400.0005			55.5815
1002	1001	CD	324.8230	CD	100.3995	0.0007	100.4003	21.303
		CI	124.8180	CI	299.6020			21.308
i = 1.585	p = 1.49	Corr	324.8205	Sum	400.0015			21.3055
1002	1005	CD	53.4260	CD	100.4810	0.0008	100.4818	56.727
		CI	253.4295	CI	299.5205			56.73
i = 1.585	p = 1.49	Corr	53.4278	Sum	400.0015			56.7285
1002	1007	CD	117.7925	CD	99.5585	0.0007	99.5593	12.687
		CI	317.7980	CI	300.4430			12.682
i = 1.585	p = 1.49	Corr	117.7953	Sum	400.0015			12.6845
1002	ref 1111	CD	399.9995	CD				
		CI	200.0002	CI				
i = 1.585	p =	Corr	399.9999	Sum				

Error de cierre de la VH: $L_{correcta\ 1111} - L_{correcta\ 1111cierre} =$

0.0006

Pto estación	Pto visado		Hz		V	error _{eclímetro}	LV correcta	Dgeom
1007	1002	CD	102.8505	CD	100.5905	0.0018	100.5923	12.679
		CI	302.8430	CI	299.4130			12.651
		Corr	102.8468	Sum	400.0035			12.665
i = 1.498	p = 1.49							
1007	2001	CD	153.2525	CD	88.9210	0.0050	88.9260	5.593
		CI	353.2505	CI	311.0890			5.593
		Corr	153.2515	Sum	400.0100			5.593
i = 1.498								
1007	2002	CD	265.9395	CD	91.4915	-0.0132	91.4783	7.253
		CI	65.9370	CI	308.4820			7.252
		Corr	265.9383	Sum	399.9735			7.2525
i = 1.498								
1007	2003	CD	337.7240	CD	91.3075	-0.0072	91.3003	7.08
		CI	137.7190	CI	308.6780			7.082
		Corr	337.7215	Sum	399.9855			7.081
i = 1.498								
1007	2004 (2005)	CD	54.7850	CD	88.5520	-0.0140	88.5380	5.405
		CI	254.7845	CI	311.4200			5.407
		Corr	54.7848	Sum	399.9720			5.406
i = 1.498								
1007	2006 (2007)	CD	153.3830	CD	116.8265	0.0020	116.8285	5.696
		CI	353.3760	CI	283.1775			5.696
		Corr	153.3795	Sum	400.0040			5.696
i = 1.498								
1007	2008	CD	218.7400	CD	122.4380	0.0010	122.4390	4.315
		CI	18.7355	CI	277.5640			4.318
		Corr	218.7378	Sum	400.0020			4.3165
i = 1.498								
1007	2009	CD	337.6410	CD	113.3620	-0.0007	113.3613	7.158
		CI	137.6415	CI	286.6365			7.157
		Corr	337.6413	Sum	399.9985			7.1575
i = 1.498								
1007	2010	CD	385.8940	CD	124.0620	-0.0010	124.0610	4.055
		CI	185.8850	CI	275.9360			4.06
		Corr	385.8895	Sum	399.9980			4.0575
i = 1.498								
1007	2011	CD	54.8520	CD	117.5615	0.0040	117.5655	5.511
		CI	254.8480	CI	282.4465			5.513
		Corr	54.8500	Sum	400.0080			5.512
i = 1.498								
1007	2012	CD	87.8935	CD	122.9400	0.0033	122.9433	4.227
		CI	287.8930	CI	277.0665			4.232
		Corr	87.8933	Sum	400.0065			4.2295
i = 1.498								
1007	2013	CD	87.8580	CD	90.7865	0.0033	90.7898	4.026
		CI	287.8515	CI	309.2200			4.031
		Corr	87.8548	Sum	400.0065			4.0285
i = 1.498								
1007	2014	CD	122.0550	CD	90.9595	0.0035	90.9630	4.096
		CI	322.0520	CI	309.0475			4.097
		Corr	122.0535	Sum	400.0070			4.0965
i = 1.498								

Pto estación	Pto visado		Hz		V	error _{eclímetro}	LV correcta	Dgeom
1007 i = 1.498	2015	CD	122.0670	CD	122.5610	0.0027	122.5638	4.3
		CI	322.0610	CI	277.4445			4.3
		Corr	122.0640	Sum	400.0055			4.3
1007 i = 1.498	1 suelo	CD	155.8210	CD	130.4775	-0.0002	130.4773	3.264
		CI	355.8185	CI	269.5220			3.265
		Corr	155.8198	Sum	399.9995			3.2645
1007 i = 1.498	2 suelo	CD	204.8090	CD	138.4415	-0.0038	138.4378	2.647
		CI	4.8010	CI	261.5510			2.647
		Corr	204.8050	Sum	399.9925			2.647
1007 i = 1.498	3 suelo	CD	251.5165	CD	129.7295	0.0007	129.7303	3.341
		CI	51.5105	CI	270.2720			3.342
		Corr	251.5135	Sum	400.0015			3.3415
1007 i = 1.498	4 suelo	CD	284.8390	CD	121.8140	-0.0005	121.8135	4.469
		CI	84.8430	CI	278.1850			4.469
		Corr	284.8410	Sum	399.9990			4.469
1007 i = 1.498	5 suelo	CD	349.7450	CD	131.5260	0.0035	131.5295	3.15
		CI	149.7420	CI	268.4810			3.151
		Corr	349.7435	Sum	400.0070			3.1505
1007 i = 1.498	6 suelo	CD	0.9765	CD	143.1360	-0.0023	143.1338	2.389
		CI	200.9750	CI	256.8595			2.389
		Corr	0.9757	Sum	399.9955			2.389
1007 i = 1.498	7 suelo	CD	54.5725	CD	132.4600	0.0002	132.4603	3.077
		CI	254.5625	CI	267.5405			3.078
		Corr	54.5675	Sum	400.0005			3.0775
1007 i = 1.498	3000 suelo	CD	295.0485	CD	122.9855	-0.0040	122.9815	4.252
		CI	95.0400	CI	277.0065			4.248
		Corr	295.0443	Sum	399.9920			4.25
1007 i = 1.498	3001 suelo	CD	297.8515	CD	124.1940	0.0010	124.1950	4.045
		CI	97.8515	CI	275.8080			4.044
		Corr	297.8515	Sum	400.0020			4.0445
1007 i = 1.498	3002 suelo	CD	303.1505	CD	124.3155	0.0020	124.3175	4.032
		CI	103.1490	CI	275.6885			4.031
		Corr	303.1498	Sum	400.0040			4.0315
1007 i = 1.498	3003 suelo	CD	305.4365	CD	122.5755	0.0013	122.5768	12.497
		CI	105.4325	CI	277.4270			12.492
		Corr	305.4345	Sum	400.0025			12.4945
1007 i = 1.498	1002 p = 1.49	CD	102.8480	CD				
		CI	302.8400	CI				
		Corr	102.8440	Sum				

Error de cierre de la VH: $L_{correcta\ 1111} - L_{correcta\ 1111cierre} =$

0.0028

Código del programa generado para el cálculo de la atracción de un prisma recto sobre cualquier punto del espacio y para los bloques creados para el cálculo de las estructuras irregulares que componen el Pabellón.

ATRACCIÓN PRISMA RECTO

Programa creado para el cálculo de la atracción generada por un prisma recto sobre cualquier punto.

En el cálculo de la influencia no solo se puede incluir la masa modelada como prisma, sino también la tendencia "regional" localizada en el entorno del Pabellón.

Se pueden realizar cálculos de la influencia para una altura cero o para una altura variable.

También se incluye el cálculo en bloque de figuras complejas (triangulares y pirámide truncada) modelizadas como prismas.

Autores: Sergio Sainz-Maza Aparicio y Rocío Romero Jarén (2014)

```
package proyecto_rocio;
```

```
/** ATRPRISM
```

```
 * Nagy D., 1966. The Prism Method for Terrain Corrections Using
 * Digital Computers. Pure Applied
 * Geophysics 63, 31-39.
```

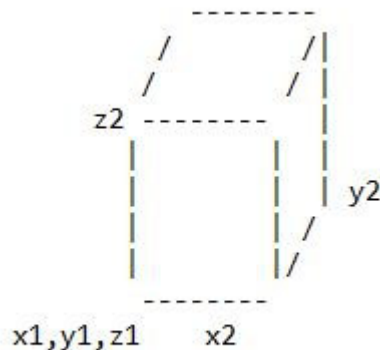
The formula implemented for the vertical attraction of a prism is developed in the paper mentioned above. We resolve this formula in three part to be more clear in the process.

$$1/ -G \cdot \text{density} \cdot x \cdot \ln(y + ((x^2 + y^2 + z^2)^{1/2})) \begin{matrix} |x2|y2|z2 \\ |x1|y1|z1 \end{matrix}$$

$$2/ -G \cdot \text{density} \cdot y \cdot \ln(x + ((x^2 + y^2 + z^2)^{1/2})) \begin{matrix} |x2|y2|z2 \\ |x1|y1|z1 \end{matrix}$$

$$3/ -G \cdot \text{density} \cdot z \cdot \text{atan}(z \cdot ((x^2 + y^2 + z^2)^{1/2}) / (x \cdot y)) \begin{matrix} |x2|y2|z2 \\ |x1|y1|z1 \end{matrix}$$

Limits:



* */

```

import java.io.*;
import java.text.DecimalFormat;
import java.util.Vector;
//
public class ATRPRISM
{

/* VARIABLES=====*/
// Universal gravity constant
public static double dGUniversal = 0.0000000000667259;
// Density in Kg/m^3
public static double dDensidad;
// Prism function value by density and by uG
public static double dPrismFunction;

// Prism function value by density and by uG
public static double dPrismvalue;

/** MAIN METHOD =====
 * Method used to do some test
 * Metodo principal de la clase. Todo lo que hay en este
método es lo que se ejecuta cuando se lanza
 * la clase java*/
@SuppressWarnings("unchecked")
public static void main(String arg[]) throws IOException
{
    // Atracción a nivel de suelo
    for(double i=0;i <30;i++)
    {
        double dAltura = i/10;
        AtraccionAltura(dAltura);
    }
}
/** AtraccionEnSuelo()
 * Metodo empleado para el cálculo de la atracción
gravitatoria del pabellón de gravimetría de Yebes en función de
la altura elegida
 * @throws IOException
 */
@SuppressWarnings("unchecked")
public static double AtraccionAltura(double DZ) throws
IOException
{
    String sCarpetaFicheros = "D:\\Universidad\\Octavo
cuatrimestre\\Practicas\\cuerpos_geometricos\\";
    // Fichero de texto que contiene las coordenadas
relativas del pabellón de gavimetría de Yebes
    String coordenadas =
sCarpetaFicheros+"Dimensiones_pilares.txt";
    double dAtraccion =0;

    // Leemos el fichero de texto e introducimos los
datos en un vector
    Vector vVector
=METODOSF.LeerArchivoAVector(coordenadas);

```

```
// Recorremos el vector
//i++ indica que el paso entre elementos es de 1. Si
queremos que sea de 2 sería: i+2 y sucesivamente.
//Size es una propiedad del vector. Lo que indicamos
es que continúe ejecutando el bucle hasta que complete
//la dimensión del fichero.
for (int i=1; i<vVector.size(); i++)
{
    // Cada elemento del vector es una línea de texto
    String sLinea =(String) vVector.get(i);

    // Convertimos todos los espacios de la línea de
    texto en tabuladores
    sLinea = UTILIDAD.TabReplaceSpace(sLinea);

    // Le decimos que entre cada elemento introduzca
    un tabulador (elemento de separación)
    // Separamos la línea en elementos, los cuales
    están ahora separados por tabuladores
    // Creamos un array (se define con []) para que
    de cada línea separe los elementos (sDatos) por el elemento "/"
    String[] sDatos = sLinea.split("\\t");

    // Leemos cada uno de los elementos de la línea
    String sCuerpo = sDatos[0]; //
    Identificador del pilar
    double DX = Double.parseDouble(sDatos[1]); //
    Coordenada relativa X del pilar
    double DY = Double.parseDouble(sDatos[2]); //
    Coordenada relativa Y del pilar

    // Definimos el fichero donde está el edificio
    modelizado mediante prismas
    // Indicamos cual es el elemento y pasamos de
    string a double porque son números.
    String dimensiones =
    sCarpetaFicheros+"Dimensiones.txt";

    // Como esta parte está dentro del bucle lo que
    hace es calcular la atracción en cada pilar
    // de todas las estructuras "dCelda == pilar"
    double [] dCelda      = {DX,DY,DZ};

    // Atracción de cuerpos sueltos
    double dPartel = CalculoAtraccion(dimensiones,
    dCelda);

    // Atracción de la pirámide truncada externa
    double dParte2 = 0;
    dParte2 =CalculoAtraccionBloque( dCelda, 0.001,
    4.3, 13.3417, 18.8997, 0.173, 2400, 22,22);

    //Atracción del tetraedro que hace de techo
    double dParte3 = 0;
    dParte3 = CalculoAtraccionBloque( dCelda, 0.001,
    0.3132, 10.0031, 15.5611, 9999, 1800, 86.43035,0);
```

```

        // Tendencia regional de la zona (trabajo de
Miguel Gonzalez Fin de Máster)
        double dTendenciaRegional = 0;
        dTendenciaRegional = -0.410156171582*DX-
1.03388878949*DY+4751992.32061;

        // Tendencia por latitud
        // metros a grados
        double dLatitud = 0.00000903*(DY-3)+40.5240000;
        //double dGCorrGra = -
GRAVTEOR.GConLatitud(dLatitud)*1000;
        //System.out.println(dLatitud+"
        "+(dGCorrGra+980227708.0193927));

        // Mostramos por pantalla la suma de las
contribuciones de todos los cuerpos sobre los pilares
        // Primero definimos el formato de los numeros
que vamos a sacar por pantalla
        DecimalFormat decf = new
DecimalFormat("#####.###");
        decf.setMinimumFractionDigits(3);
        decf.setMaximumFractionDigits(3);
        /*System.out.println(sCuerpo+
        " "+decf.format(dCelda[0])+
        " "+decf.format(dCelda[1])+
        " "+decf.format(dCelda[2])+
        //"
        "+decf.format((dPartel+dParte2+dParte3)));
        "
        "+decf.format((dPartel+dParte2+dParte3+dTendenciaRegional-
4751949.875)));*/
        dAtraccion =
dPartel+dParte2+dParte3+dTendenciaRegional-4751949.875;
        }
        return dAtraccion;
    }

    public static double AtraccionAltura(double DX,double
DY,double DZ) throws IOException
    {
        String sCarpetaFicheros = "D:\\Universidad\\Octavo
cuatrimestre\\Practicas\\cuerpos_geometricos\\";
        // Fichero de texto que contiene las coordenadas
relativas del pabellón de gavimetría de Yebes
        //String coordenadas =
sCarpetaFicheros+"Dimensiones_pilares.txt";
        double dAtraccion =0;
        double sCuerpo = 0;

        // Leemos el fichero de texto e introducimos los
datos en un vector
        //Vector vVector
=METODOSF.LeerArchivoAVector(coordenadas);

        // Recorremos el vector
        //i++ indica que el paso entre elementos es de 1. Si
queremos que sea de 2 sería: i+2 y sucesivamente.

```

```
//Size es una propiedad del vector. Lo que indicamos
es que continúe ejecutando el bucle hasta que complete
//la dimensión del fichero.
//for (int i=1; i<vVector.size(); i++)
{
    // Cada elemento del vector es una línea de texto
    //String sLinea =(String) vVector.get(i);

    // Convertimos todos los espacios de la línea de
texto en tabuladores
    //sLinea = UTILIDAD.TabReplaceSpace(sLinea);

    // Le decimos que entre cada elemento introduzca
un tabulador (elemento de separación)
    // Separamos la línea en elementos, los cuales
están ahora separados por tabuladores
    // Creamos un array (se define con []) para que
de cada línea separe los elementos (sDatos) por el elemento "/"t"
    //String[] sDatos = sLinea.split("\t");

    // Leemos cada uno de los elementos de la línea
    //String sCuerpo = sDatos[0]; //
Identificador del pilar
    //double DX = Double.parseDouble(sDatos[1]); //
Coordenada relativa X del pilar
    //double DY = Double.parseDouble(sDatos[2]); //
Coordenada relativa Y del pilar

    // Definimos el fichero donde está el edificio
modelizado mediante prismas
    // Indicamos cual es el elemento y pasamos de
string a double porque son números.
    String dimensiones =
sCarpetaFicheros+"Dimensiones.txt";

    // Como esta parte está dentro del bucle lo que
hace es calcular la atracción en cada pilar
    // de todas las estructuras "dCelda == pilar"
    double [] dCelda      = {DX,DY,DZ};

    // Atracción de cuerpos sueltos
    double dPartel = CalculoAtraccion(dimensiones,
dCelda);

    // Atracción de la pirámide truncada externa
    double dParte2 = 0;
    dParte2 =CalculoAtraccionBloque( dCelda, 0.001,
4.3, 13.3417, 18.8997, 0.173, 2400, 22,22);

    //Atracción del tetraedro que hace de techo
    double dParte3 = 0;
    dParte3 = CalculoAtraccionBloque( dCelda, 0.001,
0.3132, 10.0031, 15.5611, 9999, 1800, 86.43035,0);
```

```

//Tendencia regional de la zona (trabajo de Miguel Gonzalez Fin
de Máster)
        double dTendenciaRegional = 0;
        dTendenciaRegional = -0.410156171582*DX-
1.03388878949*DY+4751992.32061;

        // Tendencia por latitud
        // metros a grados
        double dLatitud = 0.00000903*(DY-3)+40.5240000;
        //double dGCorrGra = -
GRAVTEOR.GConLatitud(dLatitud)*1000;
        //System.out.println(dLatitud+"
"+(dGCorrGra+980227708.0193927));

        // Mostramos por pantalla la suma de las
contribuciones de todos los cuerpos sobre los pilares
        // Primero definimos el formato de los numeros
que vamos a sacar por pantalla
        DecimalFormat decf = new
DecimalFormat("#####.###");
        decf.setMinimumFractionDigits(3);
        decf.setMaximumFractionDigits(3);
        /*System.out.println(sCuerpo+
            "      "+decf.format(dCelda[0])+
            "      "+decf.format(dCelda[1])+
            "      "+decf.format(dCelda[2])+
            //"
"+decf.format((dPartel+dParte2+dParte3)))+
            "
"+decf.format((dPartel+dParte2+dParte3+dTendenciaRegional-
4751949.875)))* */
        dAtraccion =
dPartel+dParte2+dParte3+dTendenciaRegional-4751949.875;
    }
    return dAtraccion;
}

/** CalculoAtraccion
 * =====
 * A partir de un fichero de datos en el que introducimos
las coordenadas y dimensiones de distintos prismas, calculamos la
atracción
 * total generada por la contribución de todos los cuerpos
deinidos en el fichero
 * 1.- Con la función Vector leemos el fichero como si
fuera un vector.
 * 2.- Creamos un bucle para que vaya pasando por todos
los elementos del fichero. Los valosres son enteros (int)
 * 3.- Introducimos la celda como un double para ponerlo
como parámetro y que pueda variar con un bucle que recorre el
fichero con coordenadas
 * de los ptos sobre los que se quiere clacular la
atracción.
 */
@SuppressWarnings("unchecked")
private static double CalculoAtraccion(String
dimensiones,double [] dCelda) throws IOException
{

```

```
// Leemos en fichero con los datos y lo introducimos
en un vector de líneas
Vector vVector
=METODOSF.LeerArchivoAVector(dimensiones);

// Variable donde iremos sumando las contribuciones
de los distintos cuerpos
// definidos en el fichero de datos
double dAtraccion= 0;

//i++ indica que el paso entre elementos es de 1. Si
queremos que sea de 2 sería: i+2 y sucesivamente.
//Size es una propiedad del vector. Lo que indicamos
es que continúe ejecutando el bucle hasta que complete
//la dimensión del fichero.
for (int i=1; i<vVector.size(); i++)
{
    String sLinea =(String) vVector.get(i);
    sLinea = UTILIDAD.TabReplaceSpace(sLinea);
    //Le decimos que entre cada elemento introduzca un
    tabulador (elemento de separación)
    String[] sDatos = sLinea.split("\t");

    //Creamos un array (se define con []) para que de
    cada línea separe los elementos (sDatos) por el elemento "/"t"
    String sCuerpo = sDatos[0]; //
    Identificador del punto
    double DX = Double.parseDouble(sDatos[1]); //
    Coordenada posición X
    double DY = Double.parseDouble(sDatos[2]); //
    Coordenada posición Y
    double DZ = Double.parseDouble(sDatos[3]); //
    Coordenada posición Z
    double Da = Double.parseDouble(sDatos[4]); //
    Dimensión X
    double Db = Double.parseDouble(sDatos[5]); //
    Dimensión Y
    double Dc = Double.parseDouble(sDatos[6]); //
    Dimensión Z
    double Dd = Double.parseDouble(sDatos[7]); //
    Densidad del cuerpo
```



```

//Indicamos cual es el elemento y pasamos de string a double
porque son números.
    double [] dCentroPrisma = {DX,DY,DZ};
    double [] dTamanno      = {Da,Db,Dc};

    //double [] dCelda      = {0,0,0};
    //Indicamos los parmetros que requiere la función.

    // Si el identificador comienza por + no lo
leeremos del fichero
    if(!sCuerpo.startsWith("+"))
    {
        // System.out.println(sCuerpo+"
"+AtraccionPrisma(dCentroPrisma,dTamanno,dCelda,Dd));
        // Indicamos la función sumatorio de las
atracciones que vaya calculando en el bucle.
        dAtraccion =
dAtraccion+AtraccionPrisma(dCentroPrisma,dTamanno,dCelda,Dd);}
    }
    //System.out.println(dAtraccion);
    //Pedimos que muestre en pantalla el sumatorio
final, es la atracción total que genera la estructura del
edificio sobre el punto (celda) indicado.
    return dAtraccion;
}

/** CalculoAtraccionBloque
 * =====
 * Metodo para el cálculo de la atracción de las paraeces
del edificio pero calculadas en bloque
 * Se va generando la estructura a base de prismas que
pueden ir reduciendo su tamaño a medida
 * que ascendemos en altura
 */
private static double CalculoAtraccionBloque
(double [] dCelda,
double dEspesorZ,
double dAltura,
double dX,
double dY,
double dEspesorXY,
double dDensidad,
double dAnguloX,
double dAnguloY) throws
IOException
{
    // Con este contador definimos el numero de bloques de
un espesor determinado hasta la altura que se quiere
    int iContador = (int)(dAltura/dEspesorZ);
    //double [] dCelda      = {0,0,0};

    // Variable que va acumulando el valor de la atracción
total de todos los bloques
    double dTotal = 0;
    //

```

```
// Se realiza un bucle en el que se van definiendo todos los
bloques que compondran la estructura
for (int i = 0 ; i < iContador;i++)
{
    double dAlturaPrisma = (dEspesorZ/2+i*dEspesorZ);
    double [] dCentroPrisma = {0,0,dAlturaPrisma};
    double dXRed = dX -
2*((i*dEspesorZ)*(Math.tan(dAnguloX*Math.PI/180)));
    double dYRed = dY -
2*((i*dEspesorZ)*(Math.tan(dAnguloY*Math.PI/180)));
    double [] dTamanno      = {dXRed,dYRed,dEspesorZ};
    //
    //
    double dAtraccion =
AtraccionPrisma(dCentroPrisma,dTamanno,dCelda,dDensidad);
    //System.out.println(dAtraccion);
    double [] dTamannoInt      = {dXRed-
dEspesorXY,dYRed-dEspesorXY,dEspesorZ};
    //
    //System.out.println(dXRed+"      "+dYRed+"
"+dAlturaPrisma));
    // Si indicamos que el espesor es 9999, queremos
indicar que no queremos calcular la contribución del prisma
interno

    double dAtraccion1 = 0;
    if(dEspesorXY !=9999)
    {
        dAtraccion1 =
AtraccionPrisma(dCentroPrisma,dTamannoInt,dCelda,dDensidad);
    }
    //System.out.println(dAtraccion1);

    // Se va acumulando la contribución de cada prisma
    double dIncrementando = dAtraccion-dAtraccion1;
    //System.out.println(dXRed+" "+dYRed+"
"+dAlturaPrisma+"      "+(dAtraccion-dAtraccion1));
    dTotal = dTotal+dIncrementando;
}
//System.out.println(dTotal);
return dTotal;
}

/** AtraccionPrisma(double []dCentroPrisma, double
[]dTama?o, double []dCelda)
 * dCentroPrisma.- Center of the prism that produces the
attraction
 * dTama?o      .- Dimension of the prism mentioned before
 * dCelda      .- Place where we observe the attraction
 */
```

```

public static double AtraccionPrisma(double []dCentroPrisma,
double []dTamanno, double []dCelda, double dDensity) throws
IOException
{
    // We put the cell as origin of our reference system
    double dXo = dCentroPrisma[0]-dTamanno[0]/2;
    double dYo = dCentroPrisma[1]-dTamanno[1]/2;
    double dZo = dCentroPrisma[2]-dTamanno[2]/2;
    double dXa = dCentroPrisma[0]+dTamanno[0]/2;
    double dYa = dCentroPrisma[1]+dTamanno[1]/2;
    double dZa = dCentroPrisma[2]+dTamanno[2]/2;

    double dLimites[] = {dXo,dYo,dZo,dXa,dYa,dZa};

    // Now we obtain the result using the corresponding
method
    double dResultado =
AtraccionPrisma((Parte1(dLimites,dCelda,dDensity)),
(Parte2(dLimites,dCelda,dDensity)),
(Parte3(dLimites,dCelda,dDensity)))*100000000;
    //
    setdPrismFunction(dResultado*dGUniversal*dDensity);
    return ((-dResultado));
}
/* METODOS MIOS===== */

/** AtraccionPrisma(double dPartel,double dParte2,double
dParte3)
 * Method used to join different parts of the calculus
 */
public static double AtraccionPrisma(double dPartel,double
dParte2,double dParte3) throws IOException
{
    return -dPartel-dParte2+dParte3;
}

/** Next three methods are used to make the calculus of
every part for the final result
 * */
public static double Parte1(double[] dLimites,double[]
dCelda, double dDensidad) throws IOException
{
    double dLimiteX1 = 0;
    double dLimiteY1 = 0;
    double dLimiteZ1 = 0;
    double dLimiteX2 = 0;
    double dLimiteY2 = 0;
    double dLimiteZ2 = 0;
    //
    double dPartel = 0;
    //
    dLimiteX1 = (dLimites[0]-dCelda[0]);
    dLimiteY1 = (dLimites[1]-dCelda[1]);
    dLimiteZ1 = (dLimites[2]-dCelda[2]);
    dLimiteX2 = (dLimites[3]-dCelda[0]);
    dLimiteY2 = (dLimites[4]-dCelda[1]);

```

```

        dLimiteZ2 = dLmites[5]-dCelda[2];
        double dK1 = dGUniversal*dDensidad;
        //
        double dDistanciaa =
Math.sqrt((dLimiteX1*dLimiteX1)+(dLimiteY1*dLimiteY1)+(dLimiteZ1*
dLimiteZ1));
        double dDistanciab =
Math.sqrt((dLimiteX1*dLimiteX1)+(dLimiteY2*dLimiteY2)+(dLimiteZ1*
dLimiteZ1));
        double dDistanciac =
Math.sqrt((dLimiteX1*dLimiteX1)+(dLimiteY1*dLimiteY1)+(dLimiteZ2*
dLimiteZ2));
        double dDistanciad =
Math.sqrt((dLimiteX1*dLimiteX1)+(dLimiteY2*dLimiteY2)+(dLimiteZ2*
dLimiteZ2));
        double dDistanciae =
Math.sqrt((dLimiteX2*dLimiteX2)+(dLimiteY1*dLimiteY1)+(dLimiteZ1*
dLimiteZ1));
        double dDistanciaf =
Math.sqrt((dLimiteX2*dLimiteX2)+(dLimiteY1*dLimiteY1)+(dLimiteZ2*
dLimiteZ2));
        double dDistanciag =
Math.sqrt((dLimiteX2*dLimiteX2)+(dLimiteY2*dLimiteY2)+(dLimiteZ1*
dLimiteZ1));
        double dDistanciah =
Math.sqrt((dLimiteX2*dLimiteX2)+(dLimiteY2*dLimiteY2)+(dLimiteZ2*
dLimiteZ2));
        //
        double dLogaritmo1 = (dLimiteY2+dDistanciah);
        double dLogaritmo2 = (dLimiteY2+dDistanciag);
        double dLogaritmo3 = (dLimiteY1+dDistanciaf);
        double dLogaritmo4 = (dLimiteY1+dDistanciae);
        double dLogaritmo5 = (dLimiteY2+dDistanciad);
        double dLogaritmo6 = (dLimiteY2+dDistanciab);
        double dLogaritmo7 = (dLimiteY1+dDistanciac);
        double dLogaritmo8 = (dLimiteY1+dDistanciaa);
        //
        double dA1 =
dLimiteX2*Math.log(dLogaritmo1*dLogaritmo4/(dLogaritmo3*dLogaritm
o2));
        double dA2 =
dLimiteX1*Math.log(dLogaritmo5*dLogaritmo8/(dLogaritmo6*dLogaritm
o7));
        //
        if(dLimiteX1 == 0)
        {
            dA2 = 0;
        }
        if(dLimiteX2 == 0)
        {
            dA1 = 0;
        }
        //
        dParte1 = dK1*(dA1-dA2);
        //System.out.println(dParte1*100000000);
        return dParte1;
    }
    //

```

```

        public static double Parte2(double[] dLimites,double[]
dCelda, double dDensidad) throws IOException
        {
            double dLimiteX1 = 0;
            double dLimiteY1 = 0;
            double dLimiteZ1 = 0;
            double dLimiteX2 = 0;
            double dLimiteY2 = 0;
            double dLimiteZ2 = 0;
            //
            double dParte2 = 0;
            //
            dLimiteX1 = (dLimites[0]-dCelda[0]);
            dLimiteY1 = (dLimites[1]-dCelda[1]);
            dLimiteZ1 = dLimites[2]-dCelda[2];
            dLimiteX2 = (dLimites[3]-dCelda[0]);
            dLimiteY2 = (dLimites[4]-dCelda[1]);
            dLimiteZ2 = dLimites[5]-dCelda[2];

            double dK1 = dGUniversal*dDensidad;
            //
            double dDistanciaa =
Math.sqrt((dLimiteX1*dLimiteX1)+(dLimiteY1*dLimiteY1)+(dLimiteZ1*
dLimiteZ1));
            double dDistanciab =
Math.sqrt((dLimiteX1*dLimiteX1)+(dLimiteY2*dLimiteY2)+(dLimiteZ1*
dLimiteZ1));
            double dDistanciac =
Math.sqrt((dLimiteX1*dLimiteX1)+(dLimiteY1*dLimiteY1)+(dLimiteZ2*
dLimiteZ2));
            double dDistanciad =
Math.sqrt((dLimiteX1*dLimiteX1)+(dLimiteY2*dLimiteY2)+(dLimiteZ2*
dLimiteZ2));
            double dDistanciae =
Math.sqrt((dLimiteX2*dLimiteX2)+(dLimiteY1*dLimiteY1)+(dLimiteZ1*
dLimiteZ1));
            double dDistanciaf =
Math.sqrt((dLimiteX2*dLimiteX2)+(dLimiteY1*dLimiteY1)+(dLimiteZ2*
dLimiteZ2));
            double dDistanciag =
Math.sqrt((dLimiteX2*dLimiteX2)+(dLimiteY2*dLimiteY2)+(dLimiteZ1*
dLimiteZ1));
            double dDistanciah =
Math.sqrt((dLimiteX2*dLimiteX2)+(dLimiteY2*dLimiteY2)+(dLimiteZ2*
dLimiteZ2));
            //
            double dLogaritmo1 = (dLimiteX2+dDistanciah);
            double dLogaritmo2 = (dLimiteX2+dDistanciag);
            double dLogaritmo3 = (dLimiteX2+dDistanciaf);
            double dLogaritmo4 = (dLimiteX2+dDistanciae);
            double dLogaritmo5 = (dLimiteX1+dDistanciad);
            double dLogaritmo6 = (dLimiteX1+dDistanciab);
            double dLogaritmo7 = (dLimiteX1+dDistanciac);
            double dLogaritmo8 = (dLimiteX1+dDistanciaa);
            //

```

```

        double dA1 =
dLimiteY2*Math.log(dLogaritmo1*dLogaritmo6/(dLogaritmo5*dLogaritm
o2));
        double dA2 =
dLimiteY1*Math.log(dLogaritmo3*dLogaritmo8/(dLogaritmo4*dLogaritm
o7));
        //
        if(dLimiteY1 == 0)
        {
            dA2 = 0;
        }
        if(dLimiteY2 == 0)
        {
            dA1 = 0;
        }
        //
        dParte2 = dK1*(dA1-dA2);
        //System.out.println(dParte2*100000000);
        return dParte2;
    }
    //
    //
    public static double Parte3(double[] dLimites,double[]
dCelda, double dDensidad) throws IOException
    {
        double dLimiteX1 = 0;
        double dLimiteY1 = 0;
        double dLimiteZ1 = 0;
        double dLimiteX2 = 0;
        double dLimiteY2 = 0;
        double dLimiteZ2 = 0;
        //
        double dParte3 = 0;
        //
        dLimiteX1 = (dLimites[0]-dCelda[0]);
        dLimiteY1 = (dLimites[1]-dCelda[1]);
        dLimiteZ1 = dLimites[2]-dCelda[2];
        dLimiteX2 = (dLimites[3]-dCelda[0]);
        dLimiteY2 = (dLimites[4]-dCelda[1]);
        dLimiteZ2 = dLimites[5]-dCelda[2];

        double dK1 = dGUniversal*dDensidad;
        //
        double dDistanciaa =
Math.sqrt((dLimiteX1*dLimiteX1)+(dLimiteY1*dLimiteY1)+(dLimiteZ1*
dLimiteZ1));
        double dDistanciab =
Math.sqrt((dLimiteX1*dLimiteX1)+(dLimiteY2*dLimiteY2)+(dLimiteZ1*
dLimiteZ1));
        double dDistanciac =
Math.sqrt((dLimiteX1*dLimiteX1)+(dLimiteY1*dLimiteY1)+(dLimiteZ2*
dLimiteZ2));
        double dDistanciad =
Math.sqrt((dLimiteX1*dLimiteX1)+(dLimiteY2*dLimiteY2)+(dLimiteZ2*
dLimiteZ2));
        double dDistanciae =
Math.sqrt((dLimiteX2*dLimiteX2)+(dLimiteY1*dLimiteY1)+(dLimiteZ1*
dLimiteZ1));
    }

```

```

        double dDistanciaf =
Math.sqrt((dLimiteX2*dLimiteX2)+(dLimiteY1*dLimiteY1)+(dLimiteZ2*
dLimiteZ2));
        double dDistanciag =
Math.sqrt((dLimiteX2*dLimiteX2)+(dLimiteY2*dLimiteY2)+(dLimiteZ1*
dLimiteZ1));
        double dDistanciah =
Math.sqrt((dLimiteX2*dLimiteX2)+(dLimiteY2*dLimiteY2)+(dLimiteZ2*
dLimiteZ2));
        //
        double dProductos1 =
1/(dLimiteZ1/(dLimiteX1*dLimiteY1));
        double dProductos2 =
1/(dLimiteZ2/(dLimiteX1*dLimiteY1));
        double dProductos3 =
1/(dLimiteZ1/(dLimiteX1*dLimiteY2));
        double dProductos4 =
1/(dLimiteZ2/(dLimiteX1*dLimiteY2));
        double dProductos5 =
1/(dLimiteZ1/(dLimiteX2*dLimiteY1));
        double dProductos6 =
1/(dLimiteZ1/(dLimiteX2*dLimiteY2));
        double dProductos7 =
1/(dLimiteZ2/(dLimiteX2*dLimiteY1));
        double dProductos8 =
1/(dLimiteZ2/(dLimiteX2*dLimiteY2));
        //
        double dTangentes1 =
dLimiteZ2*Math.atan(dProductos8/dDistanciah);
        double dTangentes2 =
dLimiteZ2*Math.atan(dProductos7/dDistanciaf);
        double dTangentes3 =
dLimiteZ2*Math.atan(dProductos4/dDistanciad);
        double dTangentes4 =
dLimiteZ2*Math.atan(dProductos2/dDistanciag);
        double dTangentes5 =
dLimiteZ1*Math.atan(dProductos6/dDistanciag);
        double dTangentes6 =
dLimiteZ1*Math.atan(dProductos5/dDistanciae);
        double dTangentes7 =
dLimiteZ1*Math.atan(dProductos3/dDistanciab);
        double dTangentes8 =
dLimiteZ1*Math.atan(dProductos1/dDistanciaa);
        //
        if(dLimiteZ2 == 0)
        {
            dTangentes1 = 0;
            dTangentes2 = 0;
            dTangentes3 = 0;
            dTangentes4 = 0;
        }
        //

```

```
if(dLimiteZ1 == 0)
{
    dTangentes5 = 0;
    dTangentes6 = 0;
    dTangentes7 = 0;
    dTangentes8 = 0;
}
double dA1 = dTangentes1-dTangentes2-
dTangentes3+dTangentes4-dTangentes5+dTangentes6+dTangentes7-
dTangentes8;

//
dParte3 = dK1*(dA1);

//System.out.println(dParte3*100000000);
return dParte3;
}

//
public static double getdPrismFunction()
{
    return dPrismFunction;
}

public static void setdPrismFunction(double dPrismFunction)
{
    ATRPRISM.dPrismFunction = dPrismFunction;
}

private static class GRAVTEOR {

    private static int GConLatitud(double dLatitud) {
        throw new UnsupportedOperationException("Not
supported yet."); //To change body of generated methods, choose
Tools | Templates.
    }

    public GRAVTEOR() {
    }
}

}
```


Código del programa generado para el cálculo de los puntos de la malla de 1600 m² situada en el entorno del Pabellón.

Este programa se ha ido modificando para no sólo calcular coordenadas e influencia de puntos aleatorios dentro de un área sino para calcular también la influencia que se genera sobre coordenadas planimétricas concretas variando, únicamente, la altura del punto.

MALLA DE PUNTOS CON COORDENADAS E INFLUENCIA

Programa creado para obtener puntos en un área determinada y que dispongan de sus coordenadas tridimensionales (X, Y, Z) locales y la influencia que genera uno o varios prismas sobre él.

Autores: Sergio Sainz-Maza Aparicio y Rocío Romero Jarén (2014).

```
package proyecto_rocio;

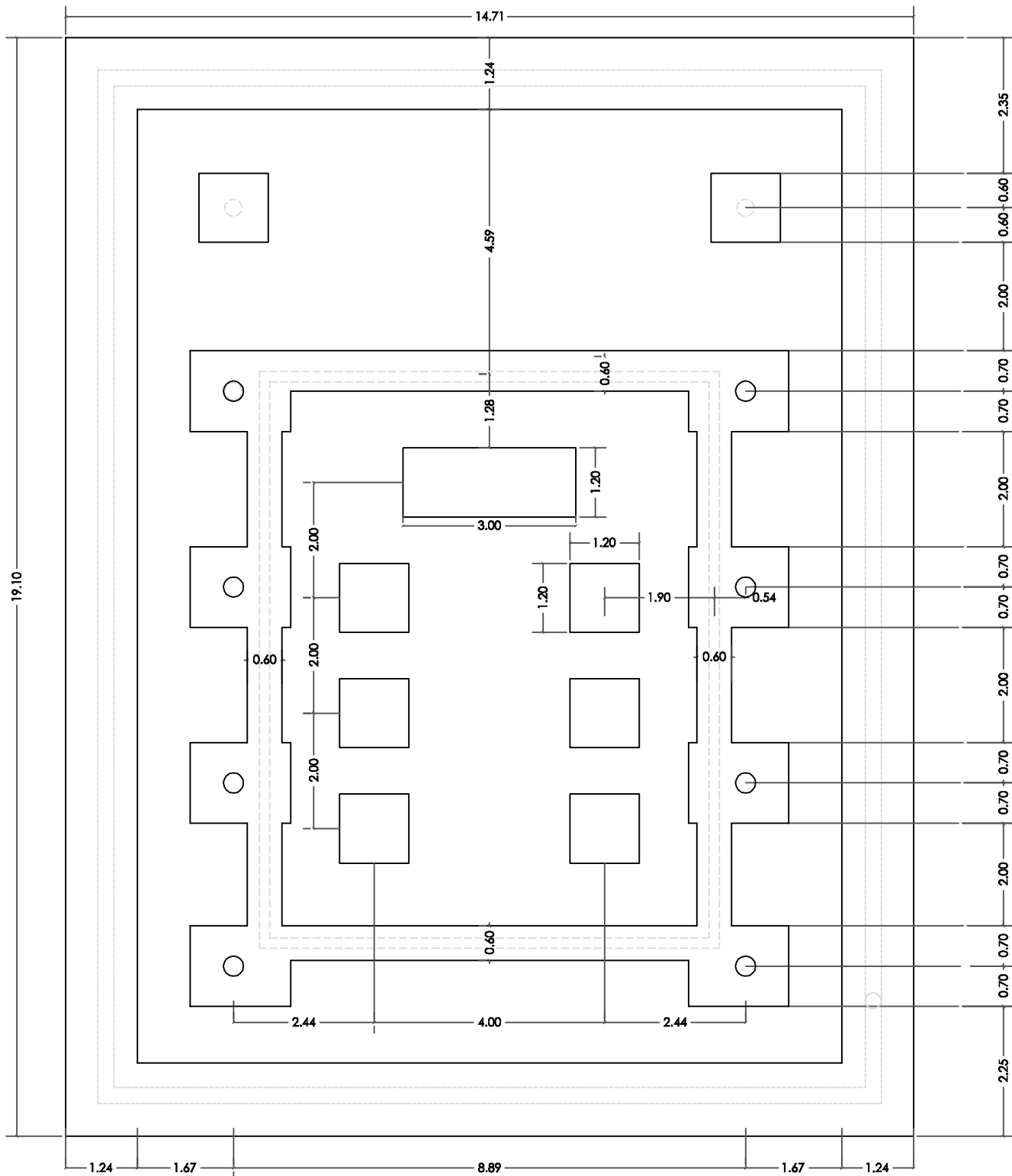
import java.io.IOException;

public class MALLADOS {

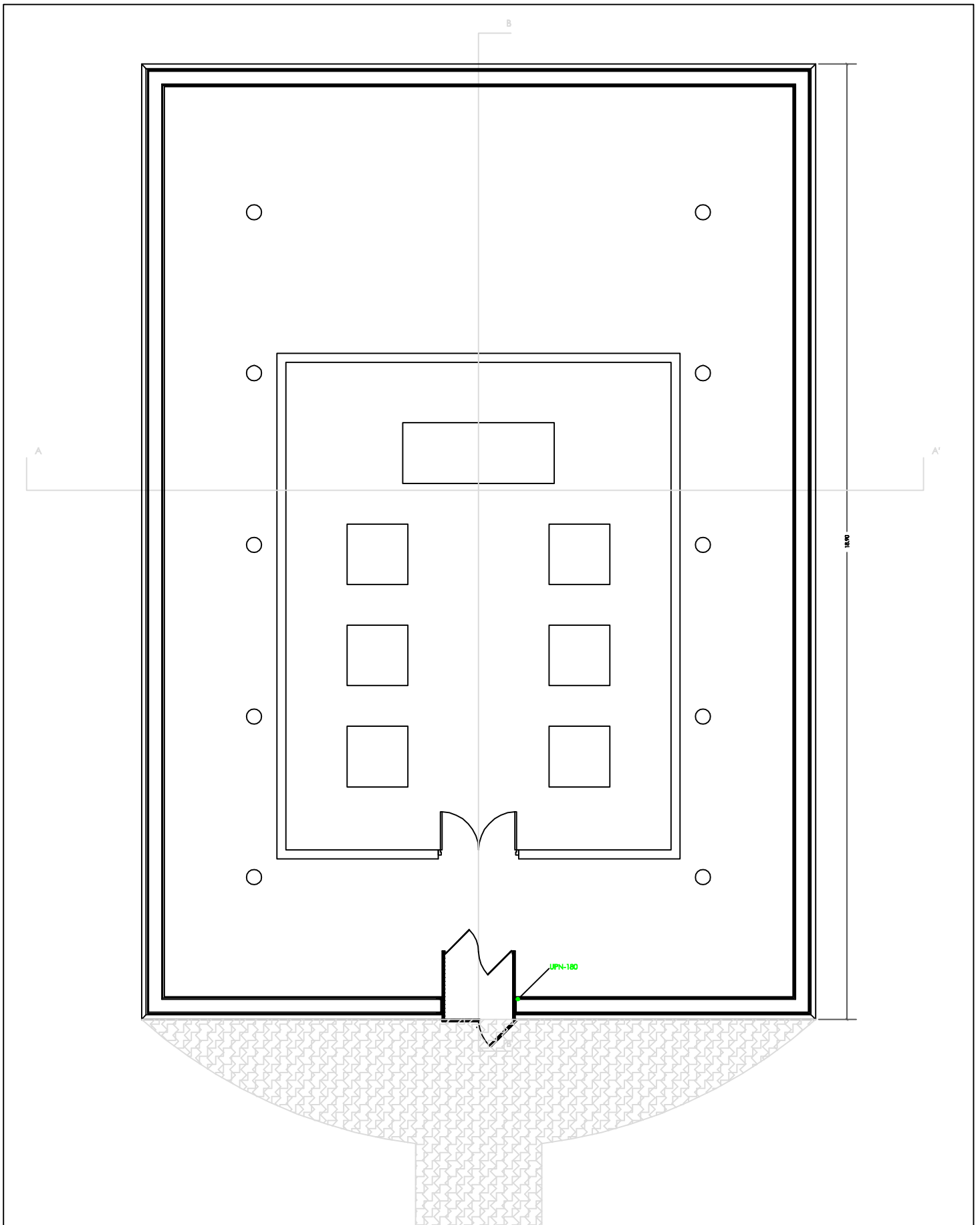
    /**
     * @param args
     */
    public static void main(String[] args) throws IOException
    {
        System.out.println("Start");
        int iDistanciaX = 40;
        int iDistanciaY = 40;
        int iContador = 0;
        for(double i = 0; i < (iDistanciaX+1); i++)
        {
            double dX = i-(iDistanciaX/2);

            for(double j = 0; j < (iDistanciaY+1); j++)
            {
                double dY = j-(iDistanciaY/2);

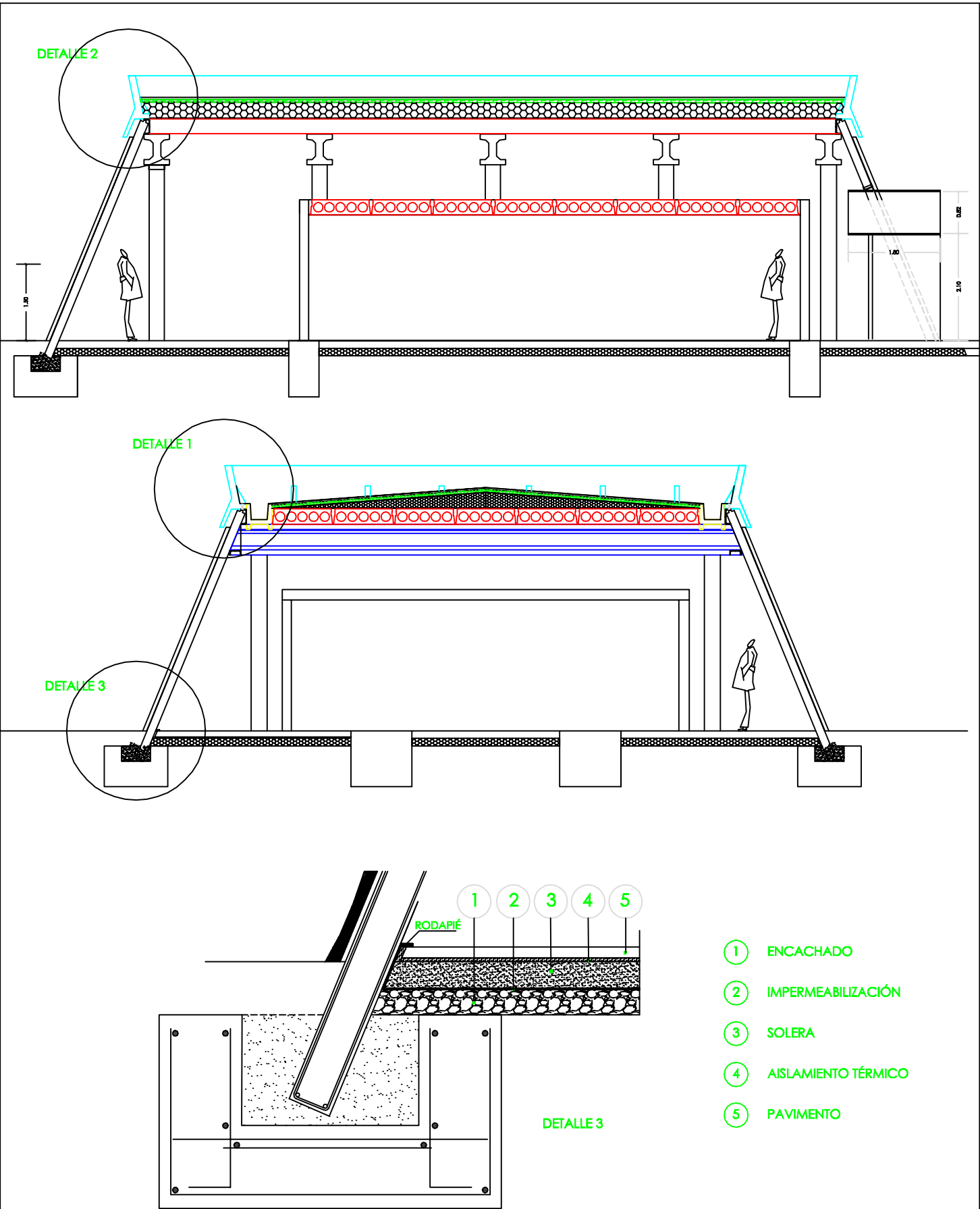
                for(double k = 0; k < 30; k++)
                {
                    double dZ = k/10;
                    double dAtraccion =
ATRPRISM.AtraccionAltura(dX,dY,dZ);
//
//System.out.println(dX+"    "+dY+"
"+dZ+"    "+dAtraccion);
                    k++;
                    //iContador++;
                }
            }
        }
    }
}
```



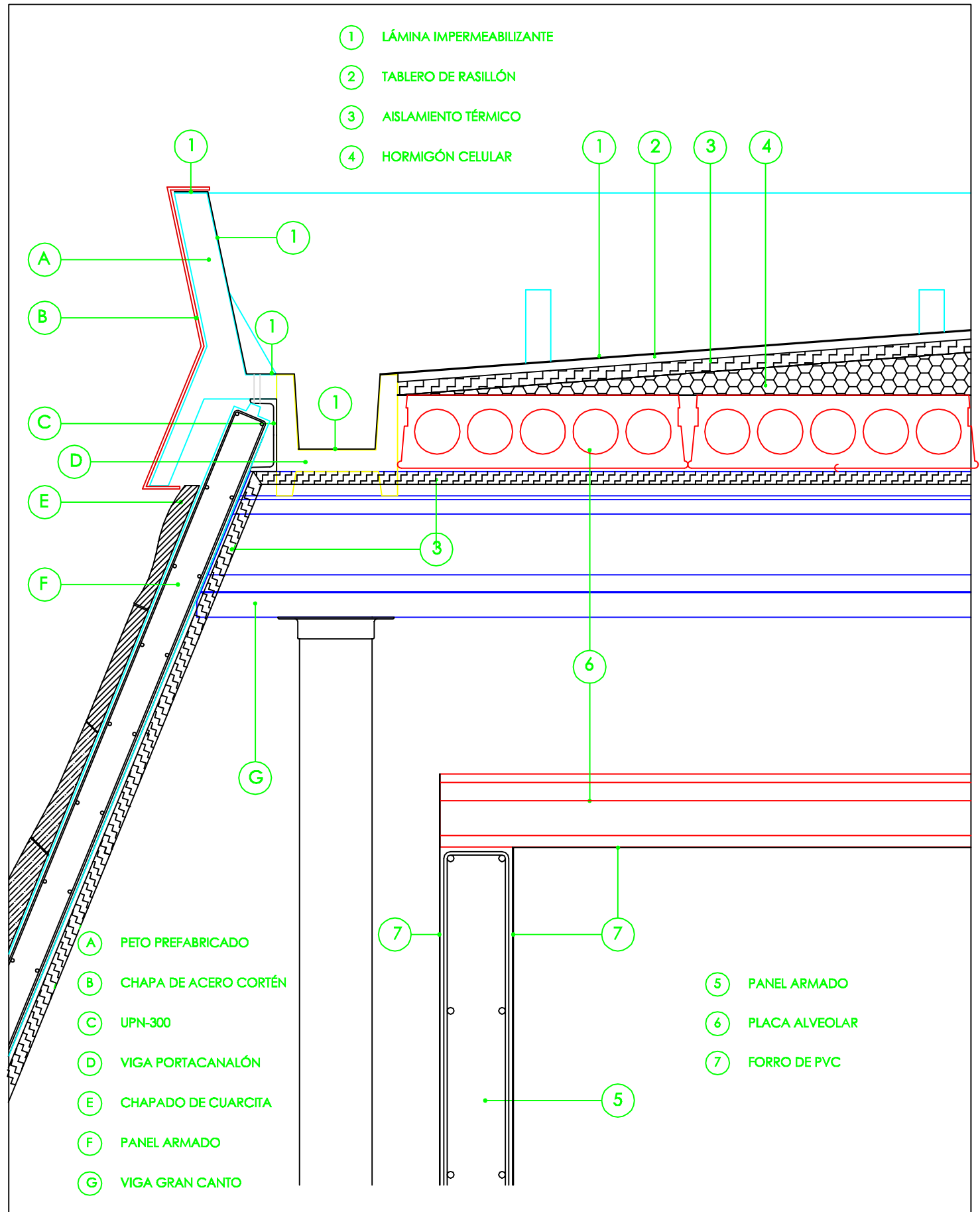
TIPO DE TRABAJO :		TIPO DE EDIFICIO :		LOCALIZACIÓN		PROPIEDAD:		ARQUITECTO :	
EDIFICACIÓN		EDIFICIO CONTENEDOR GRAVIMETRÍA		OBSERVATORIO ASTRNÓMICO NACIONAL YEBES GUINIGUADAJARA		INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL		JUAN ÁLVARO DEL SUR	
FASE DEL TRABAJO:									
PROYECTO DE EJECUCIÓN									
TIPO DE PLANO :		Nº :	ESCALA :		FECHA : <i>Junio, 2005</i>		COMENTARIOS :		
PLANTA DE CIMENTACIÓN		1	1/100	CORREGIDO :	ESTA PLANTA ESTÁ REPRESENTADA POR UNA SECCIÓN HORIZONTAL DADA A 1,50 m DE ALTURA				



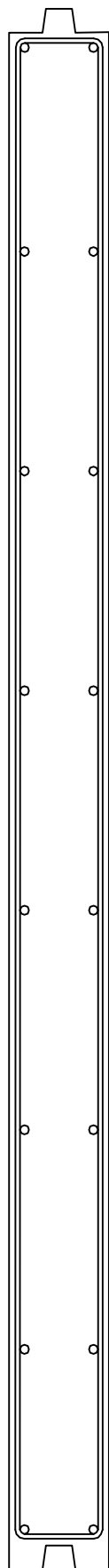
TIPO DE TRABAJO :	TIPO DE EDIFICIO :		LOCALIZACIÓN	PROPIEDAD:	ARQUITECTO :
EDIFICACIÓN	EDIFICIO CONTENEDOR GRAVIMETRÍA		OBSERVATORIO ASTRNÓMICO NACIONAL YEBES GUINIGUAJARA	INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL	JUAN ÁLVARO DEL SUR
FASE DEL TRABAJO:					
PROYECTO DE EJECUCIÓN					
TIPO DE PLANO :	Nº :	ESCALA :	FECHA : <i>Junio, 2005</i>	COMENTARIOS :	
PLANTA DE ORGANIZACIÓN	2	1/100	CORREGIDO : _____ _____ _____ _____ _____	ESTA PLANTA ESTÁ REPRESENTADA POR UNA SECCIÓN HORIZONTAL DADA A 1,50 m DE ALTURA	



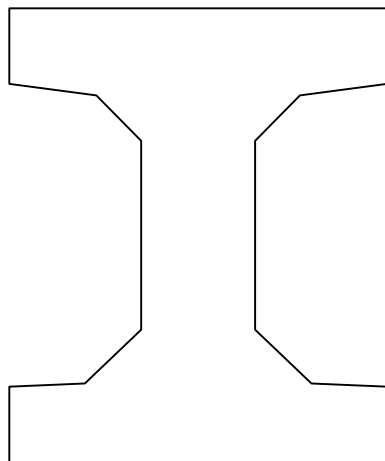
TIPO DE TRABAJO :	TIPO DE EDIFICIO :	LOCALIZACIÓN	PROPIEDAD:	ARQUITECTO :
EDIFICACIÓN	EDIFICIO CONTENEDOR GRAVIMETRÍA	OBSERVATORIO ASTRNÓMICO NACIONAL YEBES GUADALAJARA	INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL	JUAN ÁLVARO DEL SUR
FASE DEL TRABAJO:				
PROYECTO DE EJECUCIÓN				
TIPO DE PLANO :	Nº :	ESCALA :	FECHA : Junio, 2005	COMENTARIOS :
SECCIÓN B-B' SECCIÓN A-A' DETALLE 3	7	1/100 1/100 1/20	CORREGIDO : 	VER DETALLES 2 y 1 EN PLANOS 8 y 9



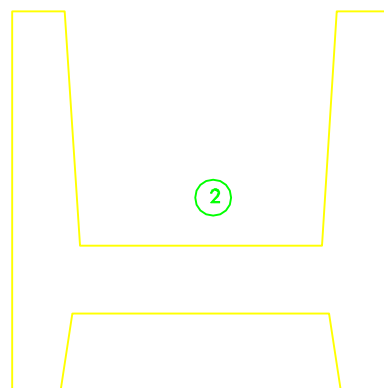
TIPO DE TRABAJO :	TIPO DE EDIFICIO :	LOCALIZACIÓN	PROPIEDAD:	ARQUITECTO :
EDIFICACIÓN	EDIFICIO CONTENEDOR GRAVIMETRÍA	OBSERVATORIO ASTRNÓMICO NACIONAL YEBES GUADALAJARA	INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL	JUAN ÁLVARO DEL SUR
FASE DEL TRABAJO:				
PROYECTO DE EJECUCIÓN				
TIPO DE PLANO :	Nº :	ESCALA :	FECHA : Junio, 2005	COMENTARIOS :
DETALLE 1	8	1/20	CORREGIDO :	



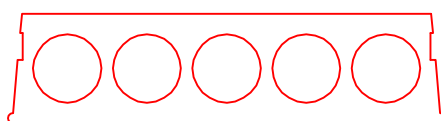
①



③

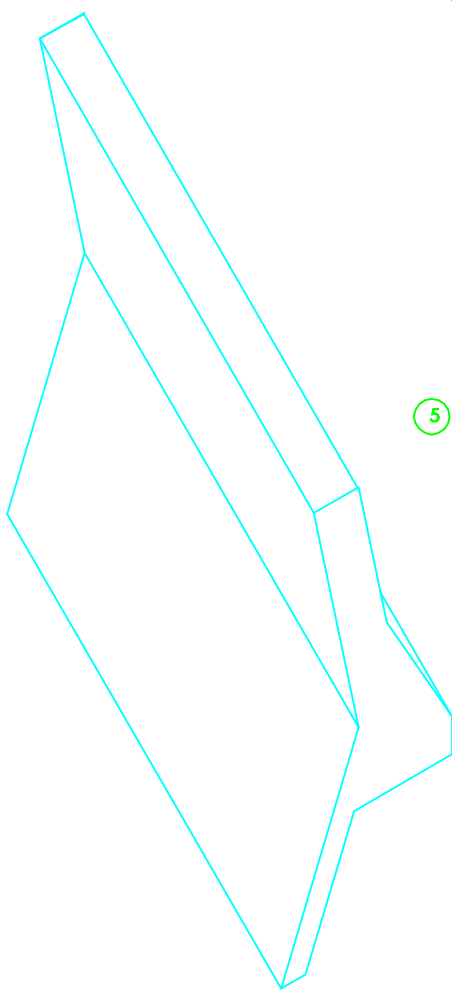


②

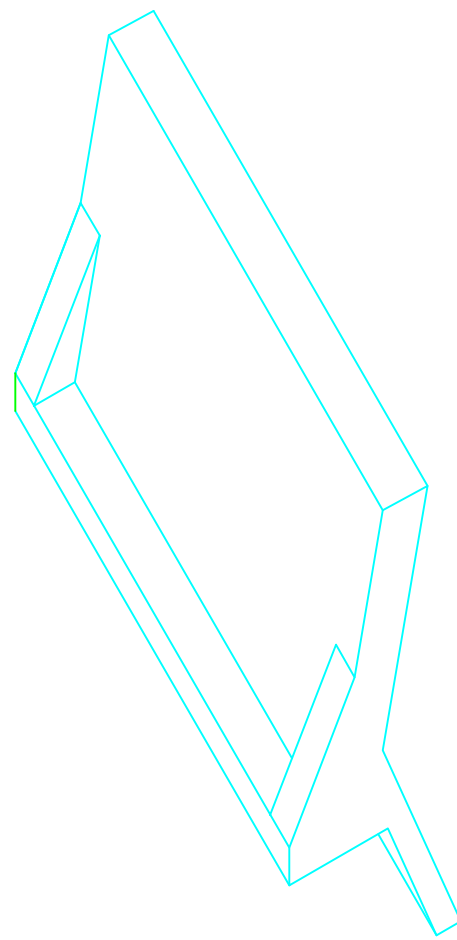


④

- ① PANEL ARMADO 270 Kg/ml
- ② VIGA H (Portacanalón) 273 Kg/ml
- ③ VIGA PREFABRICADA (VG 60) 434 Kg/ml
- ④ PLACA ALVEOLAR 520 Kg/ml
- ⑤ PETO PREFABRICADO (Imposta 1 7) 454 Kg/ml



⑤



TIPO DE TRABAJO :	TIPO DE EDIFICIO :	LOCALIZACIÓN	PROPIEDAD:	ARQUITECTO :
EDIFICACIÓN	EDIFICIO CONTENEDOR GRAVIMETRÍA	OBSERVATORIO ASTRNÓMICO NACIONAL YEBES GUINIGUAJARA	INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL	JUAN ÁLVARO DEL SUR
FASE DEL TRABAJO:				
PROYECTO DE EJECUCIÓN				
TIPO DE PLANO :	Nº :	ESCALA :	FECHA : Junio, 2005	COMENTARIOS :
ELEMENTOS PREFABRICADOS	10	1/75	CORREGIDO : _____ _____ _____ _____	LA ESCALA DE LOS ELEMENTOS 1, 2 Y 3 ES 1/10 LA ESCALA DE LOS ELEMENTOS 4 y 5 ES 1/20